<36601791620018

Physikalisches Wörterbuch

X. Band.

Zweite Abtheilung.

Waf —— Win.

Johann Samuel Traugott Gehler's

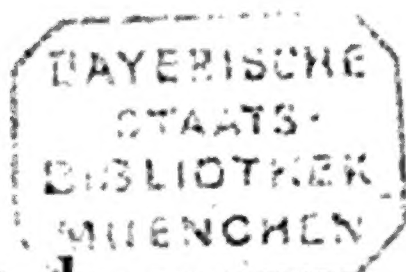
Physikalisches

Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Gmelin. Littrow. Muncke. Pfaff.



Zehnter Band.

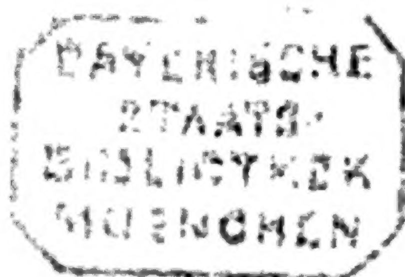
Zweite Abtheilung.

Waf — Win.

Mit Kupfertafeln X bis XXXIV.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1842.





Wahrscheinlichkeitsrechnung.

Ars conjectandi, Calculus probabilitatis; Calcul des probabilités; *Probability Calculus, Doctrine of Chances.*

Die wichtigsten Fragen, die unsere wissenschaftlichen und geselligen Verhältnisse betreffen, lassen sich beinahe alle auf Probleme der Wahrscheinlichkeit zurückführen. In der That sind bei weitem die meisten menschlichen Erkenntnisse nur Wahrscheinlichkeiten, und selbst in denjenigen, die uns Gewiſsheit gewähren, in den mathematischen Wissenschaften, sind die vorzüglichsten Mittel, zu dieser sogenannten Gewiſsheit zu gelangen, *Analogie* und *Induction*, die sich beide wieder nur auf Wahrscheinlichkeit gründen.

Alle Ereignisse, selbst diejenigen, die durch ihre Geringfügigkeit oder durch ihre scheinbare Unordnung uns ganz zufällig und von den groſsen Gesetzen der Natur völlig unabhängig erscheinen, sind doch ohne Zweifel eine ebenso nothwendige Folge derselben ewigen Gesetze, als es die Bewegung der Sonne und aller Körper des Himmels nur immer seyn kann, und nur unsere Unkenntniſs des Zusammenhangs dieser Erscheinungen mit jenen Gesetzen des Weltalls verleitet uns, sie der Wirkung des Ungefährs, des blinden Zufalls zuzuschreiben. Wie sich allmälig unsere Kenntnisse der Natur erweitern, zieht sich in demselben Maſse das Reich des Zufalls in immer engere Grenzen zusammen. Die Erscheinung einer Finsterniſs war sonst Gegenstand des allgemeinen Schreckens, die der Kometen ist es bei Vielen im Volke noch jetzt, während der Astronom beide Phänomene nur als den Gegenstand seiner ruhigen Rechnung betrachtet. Die krummen Linien aber, welche die kleinsten Staubkörnchen in unserer Luft beschreiben, so wie überhaupt alle Bewegungen und Erscheinungen in und auf und

über der Erde sind ohne Zweifel ebenso geordnet und ebenso bestimmten und unveränderlichen Gesetzen unterworfen, als die Bahnen, welche von jenen grofsen Körpern des Himmels im Weltraume beschrieben werden. Der Unterschied, welcher zwischen beiden für uns noch statt hat, liegt nicht in ihnen, sondern einzig nur in uns selbst, in unserer Beschränktheit, in unserer Unkenntnifs der Dinge und ihres Zusammenhangs.

In allen den zahlreichen Verhältnissen also, wo uns *Wahrheit*, oder was wir so nennen, versagt ist, müssen wir uns mit *Wahrscheinlichkeit* begnügen. Man hat es versucht, diese Wahrscheinlichkeit zum Gegenstande der Berechnung zu machen. Pascal, Fermat und Huyghens in der Mitte des siebzehnten Jahrhunderts haben die ersten Gründe zu dieser neuen Wissenschaft gelegt, die erst in unsern Tagen von Laplace, Poisson und Gauss ihre letzte Ausbildung erhielt.

Um zuerst einen bestimmten Begriff des im gemeinen Leben sehr vieldeutigen Wortes *Wahrscheinlichkeit* aufzustellen, so werden wir damit das Verhältnifs der Anzahl der einem gewissen Ereignisse günstigen Fälle zu der Anzahl aller möglichen Fälle, die hier eintreten können, bezeichnen. So ist z. B. die Wahrscheinlichkeit, mit einem gewöhnlichen sechsseitigen Würfel eine bestimmte Anzahl von Augen auf einen Wurf zu werfen, gleich $\frac{1}{6}$, da die Anzahl der diesem Ereignisse günstigen Fälle gleich 1, die Anzahl aller möglichen Fälle aber gleich 6 ist. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses wird also in der Form eines Bruches dargestellt werden, dessen Zähler die Summe aller günstigen und dessen Nenner die Summe aller möglichen Fälle enthält. Dieser Bruch wird sich der Einheit desto mehr nähern, je gröfser die Anzahl der günstigen Fälle gegen die Anzahl aller möglichen Fälle ist, und nur dann, wenn unter allen möglichen Fällen gar kein ungünstiger ist, d. h. wenn alle Fälle günstig sind, wird dieser Bruch zur *Einheit* und die Wahrscheinlichkeit zur *Gewifsheit* werden, so dafs also die Einheit gleichsam das Symbol der Gewifsheit ist, welcher sich die blofse Wahrscheinlichkeit desto mehr nähert, je gröfser die Anzahl der günstigen Fälle zu der Anzahl aller möglichen Fälle ist.

Bei dieser Erklärung des Wortes *Wahrscheinlichkeit* drängt sich aber sogleich eine hohe wichtige Bemerkung auf. Es giebt Ereignisse, für welche sich die Anzahl der günstigen

sowohl, als die der möglichen Fälle überhaupt genau vorausbestimmen und angeben läſst. Das vorige Beispiel gehört offenbar hierher. Die Berechnungen dieser Wahrscheinlichkeiten bilden die sogenannte *Wahrscheinlichkeitsrechnung* im engeren Sinne des Wortes, und von ihr werden wir in der ersten Abtheilung dieses Artikels reden. Ist aber die Anzahl der günstigen Fälle oder der möglichen oder beider nicht genau gegeben, sondern kennt man nur überhaupt die Grenzen, zwischen welche die günstigen sowohl, als auch die möglichen Fälle fallen, und muſs man, statt jener sichern und bestimmten Regeln, auf mehrmals wiederholte Erfahrungen, Experimente und Beobachtungen Rücksicht nehmen, so entsteht eine ganz andere Betrachtung des Gegenstandes, die unter der Benennung der *Methode der kleinsten Quadrate* bekannt ist und die der Gegenstand der zweiten Abtheilung dieses Artikels seyn soll. Dieses zweite Verfahren ist es, das vorzüglich den Astronomen, den Physiker und überhaupt alle diejenigen in hohem Grade angeht, die sich mit den Erscheinungen der Natur beschäftigen, um aus denselben durch ihre Beobachtungen die Gesetze dieser Erscheinungen abzuleiten. Wenn man z. B. gefunden hätte, daſs die Ausdehnung des Volumens eines Körpers durch eine bestimmte Erhöhung seiner Temperatur in mehrern auf einander folgenden Beobachtungen einmal 5, dann 8, dann 6 u. s. w. Hunderttheile dieses Volumens betrug, so entsteht die Frage, welche von diesen aus 3 oder 4 oder mehr Beobachtungen erhaltenen Zahlen die wahrscheinlichste sey, und selbst welchen Grad der Wahrscheinlichkeit diese Zahl gegen die andern habe, oder auch, wie weit man diese Beobachtungen fortsetzen müsse, um aus ihnen ein Resultat zu erhalten, das einen gegebenen Grad der Wahrscheinlichkeit besitzt u. s. w. Fragen dieser Art erfordern aber eigene Untersuchungen, die, wie gesagt, der Gegenstand der zweiten Abtheilung seyn werden.

A. Wahrscheinlichkeitsrechnung im engeren Sinne.

Auch wenn, wie hier vorausgesetzt wird, die Anzahl der günstigen sowohl, als die aller möglichen Fälle für irgend ein Ereigniſs ganz genau bekannt ist, läſst sich doch die Wahrscheinlichkeit irgend eines dieser Fälle unter verschiedenen Ge-

sichtspuncten betrachten, daher wir auch mehrere Arten von Wahrscheinlichkeit unterscheiden.

I. Absolute Wahrscheinlichkeit.

Unter der Benennung der *absoluten Wahrscheinlichkeit* wollen wir, wie oben im Allgemeinen gesagt ist, das Verhältnifs der Anzahl der günstigen Fälle zu der Anzahl aller möglichen Fälle begreifen, vorausgesetzt, dafs diese letzten alle gleich möglich sind. Wenn es also unter einer Anzahl N von gleich möglichen Fällen n Fälle giebt, die irgend einem aufgestellten Ereignisse günstig sind, also auch $n' = N - n$ diesem Ereignisse ungünstige, so ist nach der vorhergehenden Erklärung die Wahrscheinlichkeit W, dafs ein günstiger Fall eintrete,

$$W = \frac{n}{N},$$

und ebenso die Wahrscheinlichkeit W', dafs ein ungünstiger Fall eintrete,

$$W' = \frac{n'}{N}.$$

Die Summe dieser beiden Wahrscheinlichkeiten ist also

$$W + W' = \frac{n + n'}{N} = 1$$

oder der Einheit, das heifst, der Gewifsheit gleich, wie es seyn mufs, da von allen möglichen irgend einer, ein günstiger oder ungünstiger, eintreten mufs, sobald nur das Ereignifs überhaupt statt hat, wie hier der Natur der Sache gemäfs vorausgesetzt wird.

Um dieses durch ein Beispiel zu erläutern, wollen wir zwei sechsseitige Würfel A und B annehmen, von denen jede Seite nach der Reihe mit 1, 2 . . bis 6 Augen bezeichnet ist. Wenn man nun beide Würfel zugleich wirft, so sind überhaupt 36 Fälle möglich, wie die folgende Tafel zeigt.

A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1
1	2	2	2	3	2	4	2	5	2	6	2
1	3	2	3	3	3	4	3	5	3	6	3
1	4	2	4	3	4	4	4	5	4	6	4
1	5	2	5	3	5	4	5	5	5	6	5
1	6	2	6	3	6	4	6	5	6	6	6

Welches ist demnach die Wahrscheinlichkeit W, dafs man auf einen Wurf mit dem Würfel A die Zahl 2 und mit dem andern B die Zahl 5 werfen wird? Die Antwort ist

$$W=\frac{1}{36}$$

und ebenso ist die Wahrscheinlichkeit W' des entgegengesetzten Falls, dafs man nämlich nicht 2 mit A und 5 mit B werfen wird, gleich

$$W'=\frac{35}{36}.$$

Welches ist aber die Wahrscheinlichkeit W, dafs man überhaupt, ohne Rücksicht auf die einzelnen Würfel, mit einem Wurfe beider Würfel die Zahlen 2 und 5 werfe? Die Antwort ist

$$W=\frac{2}{36},$$

und die Wahrscheinlichkeit W' des Gegentheils, dafs man nämlich auf den ersten Wurf beider Würfel die Zahlen 2 und 5 nicht werfen wird, ist

$$W'=\frac{34}{36}.$$

Für den besondern Fall aber, dafs man mit einem Wurfe beider Würfel zwei gleiche Zahlen, z. B. 2 und 2, werfen werde, hat man

$$W=\frac{1}{36} \text{ und } W'=\frac{35}{36}.$$

Für den Fall, dafs die *Summe* der so auf einen Wurf geworfenen Zahlen gleich 7 sey, ist

$$W=\frac{6}{36}=\frac{1}{6} \text{ und } W'=\frac{30}{36}=\frac{5}{6}.$$

Für den Fall, dafs diese Summe gleich 5 sey, ist

$$W = \frac{4}{36} = \frac{1}{9} \text{ und } W' = \frac{32}{36} = \frac{8}{9}.$$

Für den Fall, dafs diese Summe gleich 4 sey, ist

$$W = \frac{3}{36} = \frac{1}{12} \text{ und } W' = \frac{33}{36} = \frac{11}{12} \text{ u. s. w.}$$

In allen diesen Fällen ist immer

$$W' = 1 - W \text{ oder } W + W' = 1.$$

Bezeichnet also überhaupt W die Wahrscheinlichkeit eines mir günstigen Falls, also auch $1 - W$ die eines ungünstigen, so kann ich W gegen $1 - W$ wetten, oder, was dasselbe ist,

$$\frac{W}{1 - W} \text{ gegen } 1$$

wetten, dafs ein für mich günstiger Fall eintreten werde. In dem letzten Beispiel war $W = \frac{1}{12}$, also kann ich $\frac{W}{1-W} = \frac{1}{11}$ gegen 1 wetten, dafs ich auf den ersten Wurf beider Würfel *vier* Augen, als Summe (also entweder 1 und 3, oder 2 und 2), werfen werde. Oder mit andern Worten: wenn die Wette verständig, für beide Parteien gleich vortheilhaft seyn soll, so mufs der Vertrag so gestellt werden, dafs, so oft ich auf einen Wurf mit zwei Würfeln 4 Augen treffe, mein Gegner mir 11 Gulden gebe, während ich ihm, so oft ich nicht 4 Augen treffe, nur 1 Gulden zahle.

Damit sind aber noch zwei wesentliche Bemerkungen zu verbinden. Wenn nämlich der so eben erwähnte Vertrag zwischen beiden Parteien eingegangen wird, so sollte Glück und Unglück, Gewinn und Verlust auf beiden Seiten gleich vertheilt seyn. Wenn ich also z. B. 24 solche Doppelwürfe gemacht habe, so sollen, jener Rechnung zufolge, unter diesen 24 Würfen nur 2 seyn, wo ich 4 Augen traf, und im Gegentheile 22 Würfe, wo ich weniger oder mehr als 4 Augen warf. Für jene zwei mir günstigen Fälle erhalte ich von meinem Gegner 2mal 11 oder 22 Gulden, während ich ihm für die 22 mir ungünstigen Fälle 22 Gulden geben mufs, so dafs also, am Ende dieses Spiels, keiner von beiden etwas gewonnen oder verloren hat. Allein dieses wird bei diesen ersten 24 Würfen wohl nicht ganz so seyn, sondern es wird sich hier noch eine gewisse Ungleichheit in dem Gewinne oder Verluste der beiden

Spielenden zeigen. Diese Ungleichheit wird aber immer kleiner werden, je weiter man das Spiel fortsetzt. Wenn z. B. bei den ersten 24 Würfen der Unterschied des Gewinns beider Personen noch 5 Gulden beträgt, so wird er bei 50 Würfen nur noch 4, bei 100 Würfen 3, bei 200 Würfen nur noch 2 Gulden betragen u. s. w., so daſs also die Resultate jener Rechnungen nicht für einzelne Fälle, auch nicht für einige wenige solcher Fälle genau geltend angenommen werden sollen, sondern nur für eine sehr groſse Reihe von Fällen, und zwar so, daſs diese Resultate immer desto sicherer, der Wahrheit desto näher seyn werden, je gröſser die Anzahl dieser Fälle ist.

Auf diese Weise sind alle Resultate der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu verstehen, welcher Art auch die Fälle seyn mögen, auf die sie sich beziehn. So folgt z. B. aus den bekannten Mortalitätslisten von Baumann, daſs von den in demselben Jahre gebornen Menschen nach den ersten 18 Jahren nur ungefähr die Hälfte lebe, die andere also schon gestorben sey. Damit soll aber keineswegs gesagt seyn, daſs von je zwei in demselben Jahre Gebornen nach 18 Jahren nur noch einer, auch nicht, daſs von je 100 zugleich Gebornen nach 18 Jahren gerade nur 50 am Leben seyn werden. Der Unterschied in dem letzten Falle wird vielleicht noch zehn und mehr Personen betragen. Aber bei 1000 zugleich Gebornen wird dieser Unterschied zwischen den nach 18 Jahren Lebenden Gestorbenen schon beträchtlich kleiner seyn, als zuvor, und bei 10000 solcher Personen wird er noch viel kleiner seyn, und bei einer Million in demselben Jahre geborner Menschen wird er vielleicht schon ganz verschwunden seyn, so daſs man, wenn man mehrere auf einander folgende Jahre hindurch die Geburts- und Sterbelisten eines groſsen, reichbevölkerten Landes betrachtet, nach je 18 Jahren beinahe immer genau die Hälfte der vor dieser Epoche gebornen Menschen unter den bereits verstorbenen finden wird.

Vorausgesetzt, und dieses ist die zweite der oben angeführten wesentlichen und allgemeinen Bemerkungen, vorausgesetzt also, daſs sich, um bei unserm letztern Beispiele stehen zu bleiben, in dieser Reihe von Jahren die auf die Geburt und den Tod Einfluſs habenden Verhältnisse jenes Landes im Allgemeinen nicht geändert haben. Wenn aber in dem einen oder

dem andern dieser Jahre Kriege oder verheerende Seuchen über das Land gekommen sind, oder wenn aus andern Ursachen die Lebensweise, die Moralität, die Gesetzgebung des Volkes, auf eine günstige oder ungünstige Weise, sich geändert haben, dann werden mit den veränderten Ursachen auch andere Wirkungen eintreten, und diese Wirkungen werden sich auch in den Geburts- und Sterbelisten entweder vorübergehend, wenn jene Aenderungen selbst wieder aufhören, oder auch bleibend äußern, wenn jene Ursachen selbst eine längere Zeit unverändert bestehen.

Diese beiden Bemerkungen erstrecken sich auf Alles, was in diesem Artikel noch gesagt werden wird, und sie sind daher nie außer Acht zu lassen.

Aus der vorhergehenden Tafel sieht man noch, daſs die Wahrscheinlichkeit W, mit zwei Würfeln einen sogenannten Pasch (zwei gleiche Zahlen) zu werfen, $= \frac{6}{36} = \frac{1}{6}$ ist, für einen bestimmten Pasch (für zwei gleiche, gegebene Zahlen z. B. 3, 3 oder 4, 4 u. s. w.) aber ist $W = \frac{1}{36}$, also sechsmal kleiner, als zuvor. Ueberhaupt zeigt diese Tafel, daſs von den 36 möglichen Fällen

nur	1	Fall den Wurf von	2
	2	Fälle	3
	3	. . . .	4
	4	. . . .	5
	5	. . . .	6
	6	. . . .	7
	5	. . . .	8
	4	. . . .	9
	3	. . . .	10
	2	. . . .	11
	1	Fall	12

Augen geben daſs also unter allen Würfen der wahrscheinlichste der von 7 Augen, der unwahrscheinlichste aber der von 2 oder auch von 12 Augen ist.

II. Relative Wahrscheinlichkeit.

Die bisher betrachtete absolute Wahrscheinlichkeit bezieht sich auf alle möglichen Fälle einer bestimmten Art. Die re-

lative Wahrscheinlichkeit aber tritt dann ein, wenn von allen möglichen Fällen durch die Natur der Aufgabe einige ausgeschlossen werden.

Ist $N = n + n'$ die Anzahl aller möglichen Fälle, und giebt es unter ihnen n Fälle einer und n' Fälle anderer Art, so ist die absolute Wahrscheinlichkeit, dafs ein Fall der er sten Art eintreten werde, nach dem Vorhergehenden $W = \frac{n}{n + n'}$, und ebenso ist die absolute Wahrscheinlichkeit, dafs ein Fall der zweiten Art eintreten werde, $= \frac{n'}{n + n'}$, und daraus folgt, dafs die relative Wahrscheinlichkeit für die Fälle der ersten Art

$$\frac{n}{n + n'} = \frac{W}{W + W'}$$

und für die Fälle der zweiten Art

$$\frac{n'}{n + n'} = \frac{W'}{W + W'}$$

seyn mufs. Die *relative Wahrscheinlichkeit* eines Falls ist also gleich der *absoluten Wahrscheinlichkeit* desselben Falles, dividirt durch die Summe der absoluten Wahrscheinlichkeiten.

Um auch dieses durch ein Beispiel deutlich zu machen, wollen wir zwei Personen annehmen, die mit zwei Würfeln unter der folgenden Bedingung spielen. Der erste soll gewinnen, wenn er, alle übrigen Fälle unbeachtet, mit einem Wurfe 7, und der andere, wenn er mit einem Wurfe 4 Augen wirft. Dieses vorausgesetzt ist die absolute Wahscheinlichkeit, dafs der erste gewinne, $W = \frac{6}{36}$, und ebenso ist die absolute Wahrscheinlichkeit, dafs der zweite gewinne, $W' = \frac{3}{36}$. Daraus folgt daher die relative Wahrscheinlichkeit, dafs der erste gewinne,

$$\frac{W}{W + W'} = \frac{6}{9}$$

und die, dafs der zweite gewinne,

$$\frac{W'}{W + W'} = \frac{3}{9},$$

so dafs sich also die relative Wahrscheinlichkeit des ersten zu der des zweiten verhält wie 6 zu 3 oder wie 2 zu 1.

Eine Urne enthalte a weiſse, a' rothe, a'' blaue, a''' grüne Kugeln u. s. w., und es sey der Kürze wegen $a + a' + a'' + \ldots = A$. Die absolute Wahrscheinlichkeit, daſs man auf den ersten Zug eine weiſse Kugel ergreifen werde, ist (nach I.) gleich $\frac{a}{A}$; eben so hat man für eine rothe Kugel $\frac{a'}{A}$, für eine blaue $\frac{a''}{A}$ u. s. w. Aber die relative Wahrscheinlichkeit, daſs man eher eine weiſse, als eine rothe ziehen werde, ist gleich

$$\frac{\frac{a}{A}}{\frac{a}{A}+\frac{a'}{A}} = \frac{a}{a+a'},$$

also ist auch die relative Wahrscheinlichkeit, daſs man eher eine rothe, als eine weiſse ziehen werde, gleich

$$\frac{\frac{a'}{A}}{\frac{a}{A}+\frac{a'}{A}} = \frac{a'}{a+a'},$$

und die Summe dieser beiden relativen Wahrscheinlichkeiten ist wieder gleich der Einheit.

III. Zusammengesetzte Wahrscheinlichkeiten.

Die bisher betrachteten zwei Gattungen von Wahrscheinlichkeiten beziehen sich alle nur auf einzelne Fälle, und sie können daher *einfache* Wahrscheinlichkeiten genannt werden, während alle nun folgenden, die mehrere dieser Fälle umfassen, *zusammengesetzte Wahrscheinlichkeiten* heiſsen. Sind nämlich überhaupt N Fälle möglich, und sind davon n Fälle für einen, n' für einen andern, n'' Fälle für einen dritten Fall günstig u. s. w., nennen wir ferner

$$W = \frac{n}{N};\ W' = \frac{n'}{N};\ W'' = \frac{n''}{N} \ldots$$

die absoluten Wahrscheinlichkeiten dieser verschiedenen Gattungen von Fällen, so ist die Wahrscheinlichkeit, daſs von den beiden ersten Gattungen ein günstiger Fall eintreffe, gleich $W + W'$; daſs von den drei ersten Gattungen ein günstiger Fall eintrete, gleich $W + W' + W''$ u. s. w., das heiſst al-

so: die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens irgend eines der gegebenen Ereignisse ist gleich der Summe der absoluten Wahrscheinlichkeiten dieser Ereignisse. Folgendes Beispiel wird dieses erläutern.

Die absolute Wahrscheinlichkeit, mit zwei Würfeln die Zahl sieben zu werfen, war $W = \frac{6}{36}$, und ebenso ist die Wahrscheinlichkeit für die Zahl 8 gleich $W' = \frac{5}{36}$ und für die Zahl 9 ist sie $W'' = \frac{4}{36}$. Also ist auch die Wahrscheinlichkeit, mit einem Wurfe der zwei Würfel entweder 7 oder 8 zu werfen, gleich

$$W + W' = \frac{6}{36} + \frac{5}{36} = \frac{11}{36}$$

und ebenso ist die Wahrscheinlichkeit für die Zahl 8 oder 9 gleich

$$W' + W'' = \frac{5}{36} + \frac{4}{36} = \frac{9}{36}$$

und für die Zahl 7 oder 9

$$W + W'' = \frac{6}{36} + \frac{4}{36} = \frac{10}{36}.$$

Die Wahrscheinlichkeit aber, mit einem Wurfe der zwei Würfel die Zahl 7, 8 oder 9 zu werfen, ist

$$W + W' + W'' = \frac{6+5+4}{36} = \frac{15}{36}.$$

Ebenso findet man die Wahrscheinlichkeit, mit einem Wurfe die Zahlen 6, 7, 8 oder 9 zu werfen, gleich

$$\frac{5+6+5+4}{36} = \frac{20}{36}$$

und auf gleiche Weise ist für die Zahlen 5, 6, 7, 8 oder 9 die Wahrscheinlichkeit

$$\frac{4+5+6+5+4}{36} = \frac{24}{36} \text{ u. s. w.}$$

IV. Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens mehrerer Ereignisse.

Man habe zuerst nur zwei Gattungen von Ereignissen. Von der ersten Gattung sey N die Anzahl aller möglichen und n die Anzahl der günstigen Fälle. Für die zweite Gattung bezeichne man dieselben Gröfsen durch N' und n'. Die absolute Wahrscheinlichkeit, dafs ein günstiger Fall der ersten Gattung,

abgesehen von allen Fällen der zweiten Gattung, eintreten werde, ist

$$w = \frac{n}{N},$$

und ebenso hat man für die absolute Wahrscheinlichkeit, dafs ein günstiger Fall der zweiten Gattung eintreten werde,

$$w' = \frac{n'}{N'}.$$

Man habe für ein specielles Beispiel von der ersten Gattung $N = 4$ mögliche Ereignisse, die wir durch a, b, c und d bezeichnen wollen, und unter denselben seyen nur $n = 3$ günstige, nämlich die drei ersten a, b und c. Von der zweiten Gattung aber habe man $N' = 3$ Ereignisse, a', b' und c', und unter denselben nur $n' = 2$ günstige, nämlich a' und b'. Da nun jeder der N möglichen Fälle der ersten Gattung mit jedem der N' möglichen Falle der zweiten Gattung paarweise zusammentreten kann, so wird es $NN' = 12$ solcher *möglichen* Paare geben. Da aber auch jeder der n günstigen Fälle der ersten Gattung mit jedem der n' günstigen Fälle der zweiten Gattung paarweise zusammentreffen kann, so wird es $nn' = 6$ *günstige* Paare (unter allen jenen 12 möglichen) geben, und die Wahrscheinlichkeit W, dafs ein solches günstiges Paar auch in der That eintreten werde, wird seyn

$$W = \frac{n}{N} \cdot \frac{n'}{N'} \text{ oder } W = w.w'.$$

Man sieht also, dafs die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens zweier solcher Ereignisse gleich ww' oder gleich dem Producte der absoluten Wahrscheinlichkeiten dieser einzelnen Ereignisse ist. Kommt noch ein drittes Ereignifs hinzu, für welches N'' die Zahl der möglichen, n'' die der günstigen Fälle, und daher $w'' = \frac{n''}{N''}$ die absolute Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines dieser günstigen Fälle ist, so kann man das Zusammentreffen der beiden ersten Ereignisse als ein einzelnes Ereignifs, dessen Wahrscheinlichkeit ww' ist, betrachten, und dann wird die Wahrscheinlichkeit W, dafs je drei der einzelnen günstigen Ereignisse zusammentreffen oder zu gleicher Zeit sich ereignen, durch die Gleichung

$$W = \frac{n}{N} \cdot \frac{n'}{N'} \cdot \frac{n''}{N''} \ldots (A) \ldots \text{ oder } W = w.w'.w''$$

ausgedrückt, und so fort für mehrere Gattungen von verschiedenen Ereignissen.

Ist bei den verschiedenen Gattungen dieser Ereignisse die Anzahl der möglichen Fälle immer dieselbe und gleich N, und sind wieder $\frac{n}{N}$; $\frac{n'}{N}$; $\frac{n''}{N}$ .. die absoluten Wahrscheinlichkeiten des Eintreffens eines Ereignisses der ersten, zweiten, dritten ... Gattung, so hat man für das Zusammentreffen dieser Ereignisse die Wahrscheinlichkeit

$$W = \frac{n \,.\, n' \,.\, n'' \,.\, n''' \ldots}{N \,.\, N \,.\, N \,.\, N \ldots} \ldots \quad (B)$$

welcher Ausdruck z. B. seine Anwendung findet, wenn eine und dieselbe Handlung mehrere Male wiederholt wird. Ist bei den verschiedenen Gattungen von Ereignissen nicht nur die Anzahl N der möglichen Fälle, sondern auch noch die Anzahl n der günstigen Fälle jeder Gattung bei allen Gattungen gleich grofs, so wird man in der Gleichung (A) nicht nur alle N, sondern auch alle n unter sich gleich annehmen und sonach für die Wahrscheinlichkeit W, dafs ein Ereignifs, dessen absolute Wahrscheinlichkeit $w = \frac{n}{N}$ ist, m mal nach einander eintrete, den Ausdruck haben

$$W = \left(\frac{n}{N}\right)^m \ldots \quad (C) \text{ oder } W = w^m.$$

Um auch diese allgemeinen Ausdrücke auf einige specielle Beispiele anzuwenden, so ist, nach dem Vorhergehenden, die absolute Wahrscheinlichkeit, mit einem Würfel die Zahl 1 zu werfen, gleich $\frac{1}{6}$. Also ist auch die Wahrscheinlichkeit, mit einem Würfel zweimal nach einander die Zahl 1 zu werfen, nach der Gleichung (C)

$$W = \frac{1}{6^2} = \frac{1}{36},$$

und die Wahrscheinlichkeit, zehnmal nach einander die Zahl 1 zu werfen, wird seyn

$$W = \frac{1}{6^{10}} = \frac{1}{60466176}.$$

So gering ist also die Wahrscheinlichkeit, dafs dieser günstige Fall eintreten werde. Die Wahrscheinlichkeit des Gegentheils, dafs er nämlich nicht eintrete, ist aber

$$1 - W = \frac{60466175}{60466176},$$

also ungemein nahe an der Einheit, d. h. an der Gewifsheit, so dafs also mein Gegner über 60 Millionen gegen 1 wetten kann, dafs der für mich günstige Fall nicht eintreten werde.

Ebenso ist die absolute Wahrscheinlichkeit, mit zwei Würfeln auf einen Wurf die Zahlen 1 und 1 zu werfen, gleich $\frac{1}{36}$, also ist auch die Wahrscheinlichkeit, mit ihnen zweimal nach einander die Zahlen 1 und 1 zu werfen, nach der Gleichung (C)

$$W = \frac{1}{36^2} = \frac{1}{1296}.$$

Die absolute Wahrscheinlichkeit, dafs die Summe der auf einen Wurf beider Würfel fallenden Zahlen 5 sey, war oben gleich $\frac{4}{36} = \frac{1}{9}$ gefunden worden. Also ist auch die Wahrscheinlichkeit, dafs dieser Fall sich nach der Ordnung zehnmal wiederhole, nach der Gleichung (C)

$$W = \frac{1}{9^{10}} = \frac{1}{3486785401}.$$

Ist also von irgend einem Ereignisse die absolute Wahrscheinlichkeit gleich w, so ist die Wahrscheinlichkeit, dafs dieses Ereignifs n mal nach einander und ununterbrochen eintreten werde, gleich $W = w^n$. Da nun w immer nur ein eigentlicher Bruch oder kleiner als die Einheit ist, so mufs auch W desto kleiner werden, je gröfser n ist. Es sey z. B. ein Ereignifs durch zwanzigmaliges Wiedererzählen verschiedener Personen bekannt geworden, so dafs die erste Person die Sache einer zweiten, diese wieder einer dritten erzählte und so fort. Wenn nun auch die Wahrscheinlichkeit, dafs jede dieser Personen die Sache ganz getreu und völlig so erzählt, wie sie dieselbe von der vorhergehenden Person gehört hat, gleich $w = \frac{9}{10} = 0.9$, also sehr grofs wäre, so würde doch die Wahrscheinlichkeit W der auf eine solche Weise übertragenen Nachricht nur gleich

$$W = (0.9)^{20} = 0{,}1216$$

seyn, d. h., man könnte nur nahe 1 gegen 8 wetten, dafs die durch eine solche 20fache Tradition erhaltene Erzählung auch der Wahrheit vollkommen gemäfs sey. Wäre dieselbe Nach-

richt durch 100 Personen gegangen, so würde ihre Wahrscheinlichkeit

$$W = (0.9)^{100} = 0{,}00002656$$

seyn, oder man würde

$$\frac{W}{1-W} = 0{,}00002656 \text{ gegen } 1$$

oder, was dasselbe ist, man könnte nur

1 gegen 37646

wetten, dafs die so überlieferte Erzählung noch der Wahrheit gemäfs sey. Unsere Geschichtschreiber pflegen diesen Umstand nicht zu beachten, wenn sie von Begebenheiten sprechen, die oft viele Generationen hinter der Gegenwart liegen. Gewifs würden sehr viele von ihren historischen Ereignissen, die allgemein als ganz ausgemacht gelten, wenigstens sehr zweifelhaft erscheinen, wenn sie einer solchen Prüfung unterworfen würden.

Die absolute Wahrscheinlichkeit, mit zwei Würfeln auf einen Wurf die Summe 8 zu werfen, war $\frac{5}{36}$, und die, dafs 9 geworfen werde, war $\frac{4}{36}$. Also ist auch die Wahrscheinlichkeit, dafs mit zwei Würfeln in zwei Würfen einmal 8 und einmal 9 geworfen werde, nach der Gleichung (A)

$$W = \frac{5}{36} \cdot \frac{4}{36} = \frac{5}{324} = 0{,}0154 .$$

Wenn A und B jeder zwei und ein dritter Spieler C nur einen Würfel wirft, so ist die absolute Wahrscheinlichkeit, dafs A zwei gleiche Zahlen werfe, gleich $\frac{1}{6}$; die aber, dafs B keine gleichen Zahlen werfe, gleich $\frac{30}{36} = \frac{5}{6}$, und die endlich, dafs C die Zahl 6 werfe, gleich $\frac{1}{6}$. Also ist auch (nach der Gleichung A) die Wahrscheinlichkeit, dafs alle drei Fälle zugleich eintreten,

$$W = \frac{1}{6} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{5}{216} = 0{,}0231 .$$

Eine Urne enthalte 1 schwarze und 2 weifse Kugeln. Eine zweite Urne enthalte 1 schwarze und 4 weifse Kugeln. Welches ist die Wahrscheinlichkeit, dafs man auf den ersten Zug aus einer dieser Urnen eine weifse Kugel ziehen werde? Die absolute Wahrscheinlichkeit, dafs man die Hand an die erste legen werde, ist $\frac{1}{2}$, und die, dafs dann eine weifse Kugel gezogen werde, ist $\frac{2}{3}$, also ist auch die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens beider Fälle (nach A) gleich

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{1}{3} .$$

Ganz ebenso erhält man bei der zweiten Urne für die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens beider Fälle

$$\tfrac{1}{2} \cdot \tfrac{4}{5} = \tfrac{2}{5}.$$

Da aber diese zwei Wahrscheinlichkeiten $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{5}$ beide für dasselbe günstige Ereignifs gehören, so hat man (nach Nr. III) für die gesuchte Wahrscheinlichkeit

$$W = \tfrac{1}{3} + \tfrac{2}{5} = \tfrac{11}{15} = 0{,}733.$$

Dieses Beispiel allgemeiner zu stellen, habe man a Urnen, deren jede m weifse und n schwarze Kugeln hat, und a' Urnen, deren jede m' weifse und n' schwarze Kugeln hat, so ist die Wahrscheinlichkeit, dafs man auf den ersten Zug eine weifse Kugel ziehen wird, gleich

$$W = \frac{a}{a+a'} \cdot \frac{m}{m+n} + \frac{a'}{a+a'} \cdot \frac{m'}{m'+n'}.$$

In dem vorhergehenden speciellen Beispiele ist $a = a' = 1$; $n = n' = 1$; $m = 2$ und $m' = 4$, also wieder $W = \frac{1}{3} + \frac{2}{5} = \frac{11}{15}$, wie zuvor.

V. Wahrscheinlichkeiten für wechselseitige Ereignisse.

Sey N die Anzahl aller möglichen Fälle, und davon n die Anzahl der einem gewissen Ereignisse, n' aber die Anzahl der einem andern Ereignisse günstigen Fälle, so sind, nach dem Vorhergehenden, die absoluten Wahrscheinlichkeiten, dafs von jenen n Fällen einer, oder dafs von diesen n' Fällen einer eintreten werde,

$$w = \frac{n}{N} \text{ oder } w' = \frac{n'}{N}.$$

Welches ist aber die Wahrscheinlichkeit W, dafs entweder eines jener n ersten Ereignisse eintrifft, oder, wenn dieses nicht der Fall ist, dafs dann doch wenigstens eines der n' zweiten Ereignisse eintreffe? Die Wahrscheinlichkeit, dafs das erste Ereignifs eintrete, ist gleich w, also auch die Wahrscheinlichkeit, dafs es nicht eintrete, gleich $1 - w$, und daher die Wahrscheinlichkeit, dafs das erste nicht, aber dann doch das zweite eintrete, (nach Nr. IV) gleich

$$(1 - w)\, w'.$$

Diesem gemäſs ist also die gesuchte Wahrscheinlichkeit W, daſs entweder das erste Ereigniſs eintritt, oder wenn dieses nicht der Fall ist, daſs dann doch das andere Ereigniſs eintritt (nach Nr. III),

$$W = w + (1 - w)\,w'$$

oder, wie sich dieser Ausdruck auch schreiben läſst,

$$W = 1 - (1 - w)(1 - w').$$

Ein Beispiel wird dieses erläutern. Die Wahrscheinlichkeit, mit zwei Würfeln auf den ersten Wurf 9 oder, wenn dieses nicht geschieht, wenigstens auf den zweiten Wurf 9 zu treffen, ist gleich

$$W = 1 - (1 - \tfrac{4}{36})(1 - \tfrac{4}{36}) = 0{,}210.$$

Die Wahrscheinlichkeit aber, auf den ersten Wurf 9 oder, wenn dieses nicht geschieht, doch auf den zweiten Wurf 8 zu treffen, ist

$$W = 1 - (1 - \tfrac{4}{36})(1 - \tfrac{5}{36}) = 0{,}234.$$

Hat man drei Ereignisse, deren Wahrscheinlichkeiten

$$w = \frac{n}{N}; \quad w' = \frac{n'}{N} \text{ und } w'' = \frac{n''}{N}$$

sind, so findet man die Wahrscheinlichkeit W, daſs entweder das erste Ereigniſs eintrifft, oder, wenn dieses nicht geschieht, das zweite erfolgt, oder, wenn auch dieses nicht geschieht, doch das dritte eintrifft, sehr leicht auf folgende Weise. Setzt man der Kürze wegen

$$x = 1 - (1 - w)(1 - w'),$$

so sieht man sogleich, wie zuvor, daſs man

$$W = 1 - (1 - x)(1 - w'')$$

haben wird, also auch, wenn man den Werth von x substituirt,

$$W = 1 - (1 - w)(1 - w')(1 - w'').$$

So erhält man z. B. für die Wahrscheinlichkeit, daſs man mit zwei Würfeln im ersten Wurfe 7 oder, wenn dieses nicht eintrifft, im zweiten Wurf 7 oder, wenn auch dieses nicht eintrifft, wenigstens im dritten Wurfe 7 werfen wird,

$$W = 1 - (1 - \tfrac{1}{6})(1 - \tfrac{1}{6})(1 - \tfrac{1}{6}) = \tfrac{91}{216}.$$

Auf ähnliche Art wird man bei vier Ereignissen, deren Wahrscheinlichkeiten w, w′, w″ und w‴ sind, haben

$$W = 1 - (1 - w)(1 - w')(1 - w'')(1 - w''') \text{ u.s.w.}$$

Diese Ausdrücke lassen sich unmittelbar auf die wahrscheinliche Dauer der Verbindungen zweier oder mehrerer Personen in Wittwen- und Waisenanstalten anwenden. Ist nämlich w die Wahrscheinlichkeit, dafs eine a jährige Person A noch p Jahre leben wird, und ist ebenso w' die Wahrscheinlichkeit, dafs eine b jährige Person B noch p Jahre, und w'', dafs eine c jährige Person C noch p Jahre leben wird u. s. f. (welche Wahrscheinlichkeiten man aus den bekannten Mortalitätstafeln durch Rechnung finden kann), so ist

$w.w'$ die Wahrscheinlichkeit, dafs A und B noch p Jahre beisammen leben, oder $w.w'$ ist die *Ehedauer* dieser zwei Personen. Ebenso ist

$1-w.w'$ die Wahrscheinlichkeit, dafs von diesen beiden Personen nach p Jahren eine schon todt ist; ferner ist

$w(1-w')$ die Wahrscheinlichkeit, dafs nach p Jahren die Person A noch lebe und B schon todt ist;

$w'(1-w)$ die Wahrscheinlichkeit, dafs nach p Jahren A schon todt ist und B noch lebt;

$(1-w)(1-w')$ die Wahrscheinlichkeit, dafs nach p Jahren beide schon todt sind, und endlich

$1-(1-w)(1-w')$ die Wahrscheinlichkeit, dafs nach p Jahren beide Personen noch nicht todt sind, sondern dafs wenigstens eine derselben noch lebe.

Auf dieselbe Weise ist auch

$w.w'.w''$ die Wahrscheinlichkeit, dafs nach p Jahren alle drei Personen A, B, C noch beisammen leben;

$ww'(1-w'')$ dafs nach derselben Zeit A und B noch leben, aber C todt ist;

$(1-w)(1-w')w''$ dafs A und B schon todt sind, aber C noch lebt;

$1-ww'w''$ dafs wenigstens eine von diesen drei Personen todt ist;

$1-(1-w)(1-w')(1-w'')$ dafs noch nicht alle drei todt sind, sondern wenigstens eine noch lebt;

$(1-w)(1-w')(1-w'')$ dafs nach p Jahren alle drei schon todt sind u. s. f.

Nach der Mortalitätstafel von BAUMANN leben von 1000 in einem Jahre gebornen Personen

nach 20 Jahren noch 491 $= A_{20}$
— 30 — — 439 $= A_{30}$
— 40 — — 374 $= A_{40}$
— 50 — — 300 $= A_{50}$
— 60 — — 210 $= A_{60}$.

Die Wahrscheinlichkeit, noch weitere 20 Jahre zu leben, ist für eine jetzt

20jährige Person $\frac{A_{20+20}}{A_{20}} = \frac{374}{491} = 0.8 = w$ nahe

30 — — $\frac{A_{30+20}}{A_{30}} = \frac{300}{439} = 0.7 = w'$

40 — — $\frac{A_{40+20}}{A_{40}} = \frac{210}{374} = 0.6 = w''$.

Diesem gemäfs hat man also für das eheliche Zusammenleben der beiden ersten, jetzt 20- und 30jährigen Personen

$$ww' = 0.56 \qquad w'(1-w) = 0.14$$
$$1 - ww' = 0.44 \qquad (1-w)(1-w') = 0.06$$
$$w(1-w') = 0.24 \qquad 1-(1-w)(1-w') = 0.94.$$

Betrachtet man aber die erste, jetzt 20jährige Person als die künftige Waise der beiden anderen, von welchen die eine jetzt 30 und die zweite 40 Jahre alt ist, so hat man für das Zusammenleben und das allmälige Sterben dieser drei Personen

$$ww'w'' = 0.34 \qquad w(1-w')(1-w'') = 0.10$$
$$ww'(1-w'') = 0.22 \qquad (1-w)(1-w')(1-w'') = 0.02$$
$$(1-w)(1-w')w'' = 0.04 \qquad 1-ww'w'' = 0.66$$
$$(1-w)w'(1-w'') = 0.06 \qquad 1-(1-w)(1-w')(1-w'') = 0.98 \text{ u.s.f.},$$

was sich noch beliebig weit fortsetzen läfst[1].

---

1 Weitere Anwendungen auf Leibrenten, Wittwen- und Waisenanstalten u. dgl. findet man in TETENS Einleitung in die Berechnung der Leibrenten u. s. w. Leipzig 1785 und J. G. Meyer, allgemeine Anleitung zur Berechnung der Leibrenten und Anwartschaften. Kopenhagen 1822. II Bde. Ueber die allgemeine Theorie dieser ersten Gattung der Wahrscheinlichkeitsrechnung aber kann man folgende Schriften nachsehen: HUGENII Tractatus de ratiociniis in ludo aleae, in SCHOOTEN's Exercitationes mathematicae 1658. JACOB BERNOULLI Ars

B. Theorie der kleinsten Quadrate.

Da von dieser wichtigen, dem Physiker unserer Zeit unentbehrlichen Methode schon mehreres Vorzügliche bereits oben[1] angegeben wurde, so werden wir uns hier gröfstentheils nur auf das dort der Kürze wegen Uebergangene zu beschränken und dadurch diesen interessanten Gegenstand, besonders in Beziehung auf die praktische Anwendung desselben, zu vervollständigen suchen.

I. Allgemeine Bemerkungen.

Zuerst wollen wir einige allgemeine Bemerkungen über die hier anzustellenden Untersuchungen vorausschicken. Die Erfahrung lehrt, dafs auch bei den einfachsten Beobachtungen, die mit den besten Instrumenten und mit der gröfsten Umsicht und Geschicklichkeit angestellt werden, fortwährende Wiederholungen derselben Beobachtungen stets *etwas verschiedene* Resultate geben, oder, mit andern Worten: dafs alle unsere Beobachtungen, wie alle Menschenwerke, *fehlerhaft* sind. Da uns aber darum zu thun seyn mufs, so viel als möglich *fehlerfreie* Beobachtungen zu erhalten und uns der gewünschten Wahrheit wenigstens so sehr zu *nähern*, als es unsere Verhältnisse eben erlauben, so entsteht die Frage, wie man aus einer durch Beobachtungen gegebenen Anzahl von jenen unvermeidlich fehlerhaften Resultaten dasjenige Resultat finden soll, welches unter allen dem *kleinsten Fehler* unterworfen, welches also das der Wahrheit nächste oder welches das *wahrscheinlichste Resultat* ist. Es mufs nun zuerst bemerkt werden, dafs hier nicht von jenen constanten Fehlern die Rede ist, die aus ebenso constanten Unvollkommenheiten unserer Instrumente oder auch unserer Sinne entspringen. Wer z. B. mit einem nicht luftleeren Barometer, oder mit einem schlecht getheilten Thermometer, oder wer mit einem astronomischen Sextanten, dessen

---

conjectandi. Basel 1713. Montmort Essay d'Analyse sur les jeux de hazard. Par. 1713. Moivre the doctrine of chances. Lond. 1718 und desselben Annuities of lives. 1756. Lacroix Élémens de calcul des probabilités, übersetzt von Unger. Erfurt 1818. Klügel's mathem. Wörterbuch, Bd. V. Art. Wahrscheinlichkeitsrechnung.

1 S. Art. *Beobachtung*. Bd. I. S. 901.

Collimationsfehler er nicht kennt, beobachtet, wird eben deshalb unrichtige Resultate erhalten, die sich aber nicht durch irgend eine Rechnung, sondern nur dadurch verbessern lassen, daſs man entweder bessere Instrumente anwendet, oder daſs man jene Fehler der alten Instrumente entweder kennen lernt und dann auf sie bei den Beobachtungen gehörige Rücksicht nimmt, oder daſs man sie, durch eine geschickte Anordnung der Beobachtungsarten, eliminirt und unschädlich macht. Bei den bekannten Beobachtungen an dem astronomischen Mittagsrohre pflegt man die Zeiten der Uhr anzugeben, in welchen ein Gestirn eben durch den im Brennpuncte des Rohrs ausgespannten Faden geht. Es giebt aber Astronomen, die sich entweder gewöhnt haben, oder die vielleicht durch die Einrichtung ihrer inneren Organisation gezwungen sind, jeden Durchgang des Sterns mit dem Auge gleichsam zu anticipiren oder um eine halbe Secunde und mehr mit ihrem Auge früher zu sehen, oder auch die Pendelschläge der Uhr mit ihrem Ohre um ebenso viel später aufzufassen, als andere Beobachter, und auch solche Fehler können offenbar keinen Gegenstand für die hier gemeinten Berechnungen abgeben.

Die eigentlichen Ursachen derjenigen Fehler, von welchen hier die Rede ist, sind uns unbekannt, daher wir sie mit dem Namen von *zufälligen* Fehlern zu bezeichnen pflegen, womit wir aber eben nur unsere Unkenntniſs derselben ausdrücken. Wir glauben dazu um so mehr berechtigt zu seyn, da diese Fehler nicht mehr, wie jene erstgenannten, *constant*, sondern da sie, wie die Erfahrung zeigt, in ihrer absoluten Gröſse sowohl, als auch in ihrem Zeichen *veränderlich* erscheinen, da sie bald positiv, bald negativ sind, und sich im Allgemeinen immer um eine gewisse mittlere Gröſse in bestimmten Grenzen auf und ab bewegen, so daſs, wenn man ihr sogenanntes *arithmetisches Mittel* nimmt, sie sich gegenseitig, groſsentheils wenigstens, aufheben oder doch gleichsam compensiren, und zwar dieses um so mehr, je gröſser die Anzahl dieser Beobachtungen selbst ist, immer vorausgesetzt, daſs sie alle unter einander unseres Wissens im Allgemeinen als gleich gute Beobachtungen zu betrachten sind. Wollte man z. B. annehmen, daſs diese Fehler alle mit *demselben* Zeichen behaftet wären, so würden sich einige Beobachtungen (deren Fehler gröſser ist) offenbar mehr von der Wahrheit entfernen, als die anderen,

und die sämmtlichen Beobachtungen könnten nicht mehr als gleich gut angenommen werden. Die hier in Rede stehenden Fehler werden also die Resultate der einzelnen Beobachtungen ebenso leicht zu grofs als zu klein geben können. Eine solche Reihe von Fehlern wird anfangs, so lange die Anzahl der Beobachtungen noch gering ist, als ganz willkürlich und gleichsam zufällig erscheinen. Wenn aber diese Reihe immer weiter fortgesetzt wird, so sieht man endlich gewisse Erscheinungen häufiger, und dafür wieder andere seltener hervortreten; das früher Zufällige fängt an, sich zu verlieren, um einem gewissen constanten Verhältnisse seine Stelle abzutreten, indem sich alle jene einzelnen Fehler gegen einen gewissen mittleren Fehler herumlagern und anordnen, so dafs es ohne Zweifel sehr interessant seyn würde, diesen mittleren Fehler und den Grad seiner Wahrscheinlichkeit, so wie auch wohl den Grad der Wahrscheinlichkeit eines jeden einzelnen Beobachtungsfehlers, auf irgend eine Weise näher kennen zu lernen.

Mitten unter den höchst veränderlichen und verwickelten, uns aber gröfstentheils unbekannten Ursachen der Erscheinungen in der Natur bemerken wir also beinahe ohne Ausnahme, dafs die anfangs auftretenden Unordnungen und *Zufälligkeiten,* wie wir es nennen, in demselben Mafse abnehmen, wie sie öfter nach einander vorkommen, oder dafs, wie die Erscheinungen selbst sich vervielfältigen, eine Art von Ordnung in ihnen sichtbar wird, die wir denn auch meistens, vielleicht wieder mit Unrecht, einer uns noch verborgenen *Absicht* zuzuschreiben pflegen.

Um dieses durch ein Beispiel deutlich zu machen, wollen wir annehmen, dafs in einer Urne eine uns ganz unbekannte Anzahl von weifsen und von schwarzen Kugeln enthalten sey. Wenn man bei jedem Zuge aus dieser Urne eine einzige jener Kugeln herausnimmt, ihre Farbe bemerkt, und sie dann wieder in die Urne zurücklegt, um eine neue Ziehung vorzunehmen, so wird bei den ersten Zügen das Verhältnifs der gezogenen weifsen Kugeln zu den gezogenen schwarzen sehr veränderlich und unregelmäfsig erscheinen. Allein je länger man diese Ziehungen fortsetzt, desto deutlicher wird man auch ein gewisses bestimmtes und constantes Verhältnifs dieser beiden Farben sich gestalten sehen, und dieses Verhältnifs der *gezogenen* weifsen und schwarzen Kugeln wird dem Verhältnisse der in der

Urne *enthaltenen* weifsen und schwarzen Kugeln immer näher kommen, je gröfser die Anzahl der Ziehungen ist, so dafs man endlich mit grofser Wahrscheinlichkeit das wahre Verhältnifs der Anzahl der in der Urne enthaltenen weifsen und schwarzen Kugeln wird bestimmen können, wenn uns gleich anfangs dieses Verhältnifs völlig unbekannt gewesen ist. Wenn z. B. nach den ersten 300 Ziehungen die Zahl der gezogenen weifsen Kugeln 120 und die der schwarzen 180 ist, so wird man schon mit einiger Wahrscheinlichkeit sagen können, dafs sich von den in der Urne enthaltenen Kugeln die Zahl der weifsen zu der Zahl der schwarzen nahe wie 2 zu 3 verhalten müsse, und diese Wahrscheinlichkeit wird schon sehr grofs seyn, wenn von weiteren 6000 Ziehungen die Zahl der gezogenen weifsen 2400, die der schwarzen aber 3600 ist, und so fort für eine noch gröfsere Anzahl von Ziehungen.

Denken wir uns ebenso eine grofse Reihe von kreisförmig aufgestellten Urnen, deren jede eine bedeutende Anzahl weifser und schwarzer Kugeln enthält. Das ursprüngliche Verhältnifs dieser zwei Gattungen von Kugeln kann noch so verschieden seyn, so dafs z. B. mehrere Urnen blofs weifse und wieder andere blofs schwarze Kugeln enthalten. Zieht man dann eine Kugel aus der ersten Urne und wirft sie in die zweite, schüttelt dann die Kugeln dieser zweiten Urne wohl durch einander, zieht aus ihr eine Kugel und wirft sie in die dritte u. s. w., bis man die aus der letzten Urne gezogene Kugel wieder in die erste wirft, und wiederholt man dieses Verfahren mit der ganzen Reihe von Urnen recht oft hinter einander, so wird, je weiter man kommt, desto mehr das Verhältnifs der weifsen und schwarzen Kugeln in *jeder* Urne sich dem immer mehr constant werdenden Verhältnifs der weifsen und schwarzen Kugeln in *allen* Urnen nähern. Durch dieses Verfahren wird also die anfängliche Unregelmäfsigkeit dieses Verhältnisses in jeder einzelnen Urne sich immer mehr und mehr verlieren und endlich in eine sehr einfache Ordnung übergehn. Wenn z. B. das anfängliche Verhältnifs der weifsen Kugeln in *allen* Urnen zu den schwarzen, wie in dem ersten Beispiele, gleich 2:3 war, so wird am Ende des angezeigten Verfahrens auch dasselbe Verhältnifs in *jeder einzelnen* Urne statt haben.

Ganz dieselbe Erscheinung hat auch bei allen Ereignissen

der Natur statt, in welchen gewisse constante Kräfte regelmäfsige Wirkungen erzeugen, die eben dadurch andere, veränderliche Einflüsse mit der Zeit überwiegen, und auf diese Weise endlich selbst aus dem Schoofse der Unordnung Systeme entwickeln, deren einfache Regelmäfsigkeit dann der Gegenstand unserer Bewunderung ist. Auf diese Weise scheinen alle Ereignisse in der Natur einem allgemeinen Gesetze unterworfen zu seyn, welches man das *Gesetz der grofsen Zahlen* nennen könnte, und das man auf folgende Weise ausdrücken kann. Wenn man eine grofse Anzahl von Erscheinungen derselben Art beobachtet, so bemerkt man endlich ein gewisses *constantes Zahlenverhältnifs*, das desto früher und deutlicher hervortritt, je besser und unter sich gleichförmiger erstens die Beobachtungen sind, je gröfser zweitens die Anzahl derselben ist, und je kleiner endlich die Amplitüden (Abweichungen) der einzelnen Beobachtungen in Beziehung auf jenes constante Verhältnifs sind. Aufserdem sind die so erhaltenen Resultate der Art, dafs man aus ihrer Anzahl und aus ihrer Uebereinstimmung unter einander auch ein gewisses Mafs für die innere Güte, für die Wahrscheinlichkeit derselben, so wie für die Grenzen erhalten kann, zwischen welchen diese Wahrscheinlichkeit enthalten seyn mufs. Macht man späterhin eine andere, wieder lange fortgesetzte Reihe von ähnlichen Beobachtungen, und findet man, für jenes Endverhältnifs, ein anderes, von dem vorhergehenden verschiedenes Resultat, so kann man daraus mit Sicherheit schliefsen, dafs auch die Ursachen, welche diese Erscheinungen hervorbringen, eine Aenderung erlitten haben müssen.

Dieses Gesetz der grofsen Zahlen findet sich nicht blofs in denjenigen Erscheinungen, die wir, aus Unkenntnifs ihrer eigentlichen Ursachen, dem blinden Zufalle zuzuschreiben pflegen, sondern auch in denjenigen, die von bereits sehr wohl bekannten Kräften herrühren, auf die aber doch auch andere zufällige und unregelmäfsige Ursachen einwirken. So folgen die Ebbe und Fluth in jedem Hafen, wie die Beobachtungen zeigen, dem Gesetze der Anziehung der Sonne und des Mondes, d. h. sie erfolgen, wenn man nur recht viele Beobachtungen in demselben Hafen anstellt, ganz nach den Vorschriften der darüber aufgestellten und berechneten Theorie, so grofs und so unregelmäfsig auch der Einflufs der Winde seyn mag,

die in jedem Hafen anders und oft sehr gewaltsam auf diese Erscheinungen einzuwirken scheinen. Aehnliche Resultate bieten uns auch unsere Mortalitätstafeln dar. Dieser oder jener Mensch, diese oder jene ganze Familie stirbt früher oder später, als jene Tafel verkündigt, aber der sogenannte *mittlere Mensch* behält die ihm von der Tafel angewiesene Lebensdauer bei, so lange die bisherigen Verhältnisse, unter denen er lebt, keine Aenderungen erleiden.

Demselben Gesetze der grofsen Zahlen sind aber nicht blofs die materiellen, sondern auch die geistigen Erscheinungen in der Natur unterworfen. Dabei mufs jedoch bemerkt werden, dafs es sich in der Wahrscheinlichkeitsrechnung nicht um den letzten Grund, um das innere Wesen dieser geistigen Erscheinungen handelt, sondern dafs hier blofs die Variation ihrer Wirkungen und die Anzahl der Beobachtungen in Betrachtung kommt, die nöthig ist, diese Variationen zwischen bestimmten Grenzen zu fixiren. Aber, wird man fragen, wie sollen sich Erscheinungen, an denen unser freier Wille und oft nur unsere Laune den gröfsten Antheil hat, bestimmten Gesetzen unterwerfen und sogar berechnen lassen? Ohne hier auf das so oft bestrittene Thema von der Freiheit des Willens, das wir Andern zu discutiren überlassen, einzugehn, wollen wir uns nur an die Thatsachen, an unleugbare Facta halten und, Individuen und individuelle Handlungen zur Seite lassend, nur grofse Gesellschaften, ganze Massen von Menschen, nicht den einzelnen Menschen selbst, betrachten. Für diese Massen aber, für ganze grofse Völkerschaften, so lehrt die Erfahrung, verschwindet die Wirkung des freien Willens beinahe gänzlich, und was davon für den Beobachter übrig bleibt, scheint rein nur der Natur, dem Klima, den bürgerlichen Einrichtungen, den erblichen Gewohnheiten, der Erziehung und den übrigen gesellschaftlichen Verhältnissen anzugehören. Wer Beweise dafür will, darf nur die Erfahrung befragen. Poisson[1] hat uns folgendes amtliche Verzeichnifs der bei dem obersten Criminal-Gerichtshof in Frankreich jährlich angeklagten und verurtheilten Verbrecher mitgetheilt.

---

1 Comptes rendus pour l'année 1837. T. V. p. 459.

Jahr	Angeklagte	Verurtheilte	Verhältnifs der Verurtheilten zu den Angeklagten
1825	6652	4037	0,61
1826	6988	4348	0,62
1827	6929	4236	0,61
1828	7396	4551	0,61
1829	7373	4475	0,60
1830	6962	4136	0,59

Welche Uebereinstimmung unter den Zahlen der letzten Columne! Und sie wird nicht blofs, vielleicht zufällig, für jenes Land gefunden, da wir für Belgien, England, Baden, d. h. für alle diejenigen Länder schon ähnliche Resultate besitzen, in welchen die Verhandlungen der Criminaljustiz öffentlich bekannt gemacht werden. So gab Poisson für England, ebenfalls aus amtlichen Mittheilungen, folgende Tabelle.

Jahr	Angeklagte	Verurtheilte	Verhältnifs der Verurtheilten zu den Angeklagten
1832	20829	14947	0,72
1833	20072	14446	0,72
1834	22451	15995	0,71
1835	20731	14729	0,71
1836	20984	14771	0,70

Man hat so oft schon nach den Ursachen gefragt, welche jährlich so viele Unglückliche unter uns den peinlichen Gerichten überliefert haben, um daraus die Mittel abzuleiten, dieses Uebel, wenn nicht ganz von uns zu entfernen, doch wenigstens so viel als möglich zu vermindern. Man hat den Mangel an Erziehung, an Religion, an guten Beispielen, an Mitteln zum Lebensunterhalte u. dgl. als die Ursachen jener jeden Menschenfreund so tief betrübenden Erscheinung angeklagt. Und wer wird zweifeln, dafs diese Ursachen in der That ganz vorzüglich wirksam gewesen sind, um so viele Hunderte jährlich in Europa vor die Richterbank und selbst auf das Blutgerüst zu führen? Aber es giebt vielleicht auch noch einige andere Einflüsse, an die man bisher noch gar nicht gedacht hat. Wem ist es z. B. wohl ein-

gefallen zu glauben, dafs die gröfsere oder kleinere Anzahl der Verbrecher eines Landes auch von dem mehr oder weniger vorgerückten *Alter* derselben abhängig sey? Folgende Tabelle hat uns Quetelet in seinem vortrefflichen Werke „über den Menschen" gegeben. Sie stellt die vor den Criminalgerichten in Frankreich jährlich Angeklagten nach ihren Lebensjahren zusammen.

Alter Von	1826	1827	1828	1829	1830	1831	1832	1833	1834	1835
16 bis 21	1100	1020	1280	1160	1120	1220	1130	1240	1140	1230
21 — 25	1160	1090	1170	1180	1120	1230	1230	1170	1090	1150
25 — 30	1300	1290	1400	1280	1224	1410	1470	1280	1140	1300
30 — 35	930	970	1000	1140	1124	1280	1350	1120	1020	1060
35 — 40	640	660	680	730	680	780	940	840	812	870
50 — 55	260	280	280	280	300	290	350	310	270	260
60 — 65	130	150	140	120	90	110	150	110	110	110
70 — 75	20	25	28	30	25	19	24	24	19	25

Das Maximum des Hanges zu Verbrechen zeigt sich in dieser Tafel in jedem einzelnen von den zehn angeführten Jahren durchgehends gegen das 25ste Lebensjahr. Aber auch für jedes andere Alter sind die ihm entsprechenden Zahlen von einer sehr auffallenden Gleichförmigkeit, und ich zweifle sehr, dafs man in einer Stadt oder Provinz, die nahe an 7000 Sterbefälle im Jahre zählt, eine Mortalität finden wird, die sich auf eine mehr regelmäfsige Weise gestaltet. Die vorhergehende Tafel zeigt, dafs man mit Hülfe derselben die Zahl der Criminalfälle Frankreichs für die nächstfolgenden Jahre mit einer Genauigkeit voraussagen kann, die z. B. für die Angeklagten zwischen 21 bis 25 Jahren bis auf 20 Personen, d. h. bis nahe auf den 60sten Theil der ganzen jährlichen Anzahl dieser Unglücklichen richtig seyn wird. Für Belgien und das Grofsherzogthum Baden hat Quetelet sehr nahe dieselben Resultate gefunden, und er ist dadurch auf die betrübende Bemerkung geführt worden, dafs es in jedem Staate kein anderes jährliches Budget gebe, das mit so schaudervoller Regelmäfsigkeit innegehalten wird, als das Budget der Gefängnisse und der Hochgerichte. Wir wenden mit Schmerz unsere Augen von einem so entsetzlichen Schauspiele ab, das uns anfangs ganz unglaublich, ja unmöglich erscheint. Aber hier sind Thatsachen, die für sich selbst spre-

chen und so laut sprechen, dafs man sich vielmehr verwundern sollte, wie ihre Stimme so lange schon überhört werden konnte. Wir wenden unsere Augen auch mit Ekel und Schauder von dem Anatomen ab, der mit seinem blutbefleckten Messer in den menschlichen Eingeweiden wühlt, aber werden wir ihn deshalb von seinen nützlichen Arbeiten abhalten oder gar verwünschen wollen? Käme es nur auf die Befriedigung einer eitlen Neugierde an, so würden wir die Ersten seyn, solche unfruchtbare und betrübende Untersuchungen zu verlassen, aber wenn der Anatom uns durch dieselben, durch seine Zergliederung der Todten Mittel giebt, die Wunden der Lebenden zu heilen und sie selbst vor einem frühen Tode zu bewahren, so wollen wir ihn und seine beschwerlichen, aber menschenfreundlichen Arbeiten preisen und die Früchte seiner Bemühungen dankbar hinnehmen.

Wenn es also in der That ein so schaudervolles Budget giebt, und die Existenz desselben ist nicht weiter zu leugnen, so müssen wir es, vor allen anderen, zu *reduciren* suchen. Diese Reduction aber ist glücklicher Weise in unserer Hand. Wir sehen, dafs in jedem Jahre dasselbe Land dieselben Verbrechen in derselben Ordnung und Anzahl wiederholt, und dafs ihnen auch dieselben Strafen in demselben Verhältnisse folgen. Dieses soll uns aber nicht, wie Manche vielleicht wähnen, zu einem starren Fatalismus führen, so wenig, als eine andere längst schon bekannte und ganz ähnliche Erfahrung, dafs in jedem Lande die meisten Verbrecher immer in denjenigen Classen des Volkes angetroffen werden, in welchen die Erziehung der künftigen Generation am meisten vernachlässigt wird. Daraus folgt nur, dafs wir uns bestreben sollen, jenen Volksclassen fernerhin eine bessere Erziehung zukommen zu lassen. Und ganz ebenso folgt auch aus jenen Thatsachen, dafs es unsere und besonders unserer Machthaber wichtigste Pflicht ist, alle die Mittel aufzusuchen und in Thätigkeit zu setzen, welche die Reduction jenes entsetzlichen Budgets bewirken können. Diese Mittel sind aber, wie gesagt, in *unserer Gewalt*. Die erstaunenswürdige Regelmäfsigkeit in der jährlich wiederkommenden Anzahl von Verbrechen eines Landes hat nämlich darin ihren Grund, dafs während dieser Zeit das Volk dieses Landes, seine Sitten, Gesetze, Gewohnheiten u. s. w. sich nicht geändert haben. So lange aber dieselben Ursachen

fortbestehn, müssen auch, in der physischen, wie in der moralischen Welt, dieselben Folgen eintreten. Wir werden daher nur die ersten gehörig ändern dürfen, um sofort auch die zweiten zu verbessern. Auf diese Weise betrachtet wird dann jenes allgemeine Gesetz der Nothwendigkeit, nach welchem der innere freie Wille des Einzelnen, so fest er auch für sich selbst bestehn mag, in der grofsen Masse des Volkes, das gleichsam nur mechanisch dem äufsern Impulse folgt, verschwindet, dieses auf den ersten Blick Schauder und Abscheu erregende Gesetz wird, näher betrachtet, eine sehr tröstende Erscheinung, da in ihm allein das einzig mögliche Pfand der Verbesserung der menschlichen Gesellschaft im Grofsen liegt. Wäre dieser Zusammenhang zwischen Ursachen und Wirkung, den wir überall in der materiellen Welt bemerken, nicht auch in der moralischen zu treffen, sondern sollte hier Alles nur durch Laune und Zufall entstehn, dann erst würden alle Verbesserungen unmöglich, alle Gesetze erfolglos und die ganze Menschheit der Verzweiflung überlassen seyn.

Auch von dieser Einwirkung der veränderten Institutionen eines Landes auf die jährliche Anzahl der Verbrechen hat uns Poisson[1] ein auffallendes Beispiel gegeben. Während der Jahre 1825 bis 1830 erfolgten, den Gesetzen gemäfs, die Entscheidungen der Geschwornengerichte in Frankreich nach der Majorität von 7 gegen 5 Stimmen, oder der Angeklagte wurde verurtheilt, wenn von den 12 Geschwornen 7 für die Strafe stimmten. Aus einer sehr grofsen Anzahl dieser Unglücklichen fand Poisson für diese fünf Jahre das Verhältnifs

$$\frac{\text{Verurtheilte}}{\text{Angeklagte}} = \frac{61}{100} = 0{,}61.$$

Im Jahre 1830 wurde bekanntlich die Regierung dieses Landes geändert, und zugleich im folgenden jenes Gesetz dahin abgeändert, dafs die Verurtheilung nach der Majorität von 8 gegen 4 erfolgen sollte. Sofort wurde für dieses Jahr auch jenes Verhältnifs geändert und gleich

$$\frac{54}{100} = 0{,}54$$

gefunden, so dafs also die Verurtheilungen dadurch *seltener* wur-

1 Comtes rendus. T. I. p. 473.

den. Weiter wurde in dem nächstfolgenden Jahre 1832 wohl die Majorität von 8 gegen 4 beibehalten, aber auch zugleich gesetzlich vorgeschrieben, dafs die Geschwornen auf die *mildernden Umstände* besondere Rücksicht nehmen sollten. Diese letzte Einrichtung mufste eine Linderung der Strafen, also auch eine gröfsere Leichtigkeit der Verurtheilungen zur Folge haben. In der That fand sich auch jenes Verhältnifs

in dem Jahre 1832 . . gleich 0,59
1833 . . — 0,59
1834 . . — 0,60.

Diese Zahlen, so wie die der vorhergehenden zwei ersten Tafeln, zeigen zugleich die bewunderungswürdige Uebereinstimmung der Resultate für die einzelnen Jahre, so dafs man schon aus einem oder zwei derselben mit einer Sicherheit auf die folgenden schliefsen kann, die bei unseren Mortalitätslisten kaum aus zehn oder mehr Jahren folgen würde.

Aber nicht blofs in diesen Beziehungen, die, der allgemeinen Meinung nach, so sehr von dem freien Willen der einzelnen Individuen abhängig sind, scheint diese Individualität, wenn sie auf ganze Volksmassen übergetragen wird, gänzlich zu verschwinden, sondern dasselbe ist selbst noch bei jenen Ereignissen der Fall, die, wie man bisher glaubte, ganz und gar dem Zufalle und der Laune eines jeden Einzelnen überlassen sind. Die jährlichen *Ehen* z. B. geben eben solche constante Zahlen, so dafs es scheint, als würde in jedem Lande jährlich dieselbe Menge, mit oder gegen ihren Willen, zur Schliefsung dieses Bündnisses von irgend einer unsichtbaren Macht getrieben, deren Zweck es ist, die Population des Landes auf einem bestimmten Standpuncte zu erhalten. Für Frankreich hat z. B. das *Annuaire du Bureau des Longitudes* folgende Tabelle gegeben.

Jahre	Ehen	Abweichung vom Mittel
1826	247200	0,03 des Ganzen
1827	255700	0,00
1828	246800	0,04
1829	248800	0,03
1830	270900	0,06
1831	236400	0,04
1832	242000	0,05
1833	264100	0,03
1834	271200	0,06
1835	275000	0,08
Mittel	255800	

so dafs also die Abweichungen der jährlichen Zahlen von ihrem Mittel im Allgemeinen nur $\frac{4}{100}$ des Ganzen betragen.

Wer wollte es leugnen, dafs unser Wille bei der Zeugung eine Hauptrolle spiele, besonders bei der *aufserehelichen*, bei der man gleichsam in eine feindliche Stellung gegen unsere bürgerlichen und religiösen Einrichtungen tritt und blofs seinem Hange oder seinem Gutdünken folgt? Aber auch diese aufserehelichen Geburten sind in jedem Lande und zu jeder Zeit an solche constante Zahlenverhältnisse gebunden, wie folgende ebenfalls dem erwähnten *Annuaire* entnommene Tabelle für Frankreich zeigt.

Jahre	Aufsereheliche Geburten	Abweichung vom Mittel
1826	72470	0,02 des Ganzen
1827	70770	0,01
1828	70700	0,01
1829	69350	0,02
1830	69250	0,03
1831	71410	0,00
1832	67670	0,05
1833	71500	0,00
1834	73560	0,03
1835	74730	0,05
Mittel	71140	

so dafs also hier die Abweichungen der jährlichen Zahlen von ihrem Mittel im Allgemeinen nur den $\frac{2}{100}$ des Ganzen betragen, also jene doppelt so regelmäfsig sind, als die Zahlen der geschlossenen Ehen. Welche Kraft ist es aber, die die Menschen treibt, ihr Geschlecht sowohl in als auch aufser der Ehe auf eine so wunderbar regelmäfsige Art zu erhalten? Diese Kraft ist uns unbekannt, aber ihre Existenz kann bei solchen Thatsachen nicht weiter bestritten werden, so wie es zugleich offenbar ist, dafs das Gesetz, nach welchem diese unsichtbare Kraft wirkt, das oben erwähnte *Gesetz der grofsen Zahlen* ist.

Man sollte kaum glauben, dafs es noch andere Erscheinungen gebe, die uns noch mehr willkürlich und zufällig erscheinen, als die eben angeführten, und die dessenungeachtet demselben Gesetze unterworfen sind. Jeder bedient sich der Briefpost, wie er es eben für gut findet; jeder schreibt an seine Freunde, wie und wann er will. Und doch hat man gefunden, dafs in Paris, so wie auch in London, die Zahl der auf die Post gegebenen Briefe jährlich fast genau dieselbe ist, dafs regelmäfsig der oder jener Monat eine bestimmte Anzahl mehr Briefe liefert, als ein anderer, ja dafs sogar die Zahl derjenigen Briefe, welche wegen ungenügender oder unlesbarer Adressen auf dem Postamte zurückgelegt werden müssen, in jedem Jahre nahe dieselbe bleibt. Es kann daher weiter keinem Zweifel mehr unterworfen seyn, dafs, bei jeder längeren Reihe von Ereignissen derselben Art, die Wirkung der regelmäfsigen und constanten Ursachen über die der unregelmäfsigen ein Uebergewicht erhalte und für uns desto mehr hervortrete, je gröfser diese Reihe von Beobachtungen und je besser jede einzelne dieser Beobachtungen selbst ist.

Gehen wir nun zu der analytischen Anwendung dieser Bemerkungen auf Beobachtungen und Experimente über.

II. Elemente der Theorie der kleinsten Quadrate.

Wenn man von irgend einer durch Beobachtungen zu bestimmenden Gröfse, z. B. von der Polhöhe eines Ortes, eine gröfsere Anzahl von Beobachtungen hat, die man alle unter einander für gleich gut zu halten veranlafst ist, so werden doch

die so erhaltenen Polhöhen unter sich noch etwas verschieden seyn, und man wird, auf den ersten Blick, nicht wissen, welcher von ihnen man den Vorzug geben soll. Bei einer nähern Ansicht aber wird man sehen, dafs gewisse Zahlen öfter vorkommen, als die übrigen, dafs sich diese übrigen in kleinern oder gröfsern Distanzen um jene ersten lagern und anordnen, und dafs endlich auch von diesen übrigen Zahlen diejenigen, welche in kleinern Distanzen von jenen ersten abstehn, im Allgemeinen zahlreicher sind, als die weiter von jenen ersten entfernten Zahlen. Das Einfachste würde seyn, wenn man von allen diesen Zahlen (die von jenen ersten zu weit entfernten etwa ausgenommen) das sogenannte *arithmetische Mittel* nähme und dieses Mittel für die zu suchende *wahre Zahl* gelten liefse. In der That wird, wie jede einzelne Beobachtung, so auch diese gleichsam *mittlere Beobachtung* im Allgemeinen noch immer fehlerhaft seyn; aber der Fehler der mittlern Beobachtung wird aller Wahrscheinlichkeit nach viel kleiner, als jene einzelnen Fehler seyn, weil auf ihn jene oben erwähnten ersten, und die diesen ersten nächsten Zahlen vorzugsweise, und zwar auf eine sehr vortheilhafte Weise einwirken müssen, da die einzelnen Beobachtungszahlen von jenen ersten Zahlen nach verschiedenen Seiten abweichen, bald gröfser und bald wieder kleiner seyn werden, als diese, so dafs also ihre Differenzen von diesen ersten Zahlen sich gegenseitig, wenigstens gröfstentheils, aufheben müssen.

Wie soll man aber zu der Kenntnifs der Gröfse dieser Fehler, der einzelnen Beobachtungen sowohl, als auch jenes arithmetischen Mittels aus allen Beobachtungen, gelangen? Oder wenn man die absolute Gröfse dieser Fehler, also auch die Wahrheit selbst nicht unmittelbar angeben kann, wie soll man wenigstens zu irgend einer bestimmten *Schätzung der Wahrscheinlichkeit*, der Annäherung zur Wahrheit, gelangen, deren sich diese einzelnen Beobachtungen, so wie auch ihr arithmetisches Mittel, erfreuen?

Bezeichnen wir die Wahrscheinlichkeit, dafs der Fehler irgend einer ersten Beobachtung gleich x sey, durch φx, so dafs also auch $\varphi x'$, $\varphi x''$, $\varphi x'''$ .... die Wahrscheinlichkeit ausdrückt, dafs der Fehler der 2ten, 3ten, 4ten... Beobachtung gleich x', x'', x'''.... sey u. s. f.

Dieses vorausgesetzt wird die (zusammengesetzte) Wahr-

scheinlichkeit, daſs aus den beiden ersten Beobachtungen die Fehler x und x' zusammentreffen, (nach der ersten Abtheilung Nr. IV) gleich dem Producte

$$\varphi x . \varphi x'$$

seyn, und ebenso wird die Wahrscheinlichkeit, daſs in den drei ersten Beobachtungen die Fehler x, x' und x'' zusammentreffen, gleich

$$\varphi x . \varphi x' . \varphi x''$$

seyn u. s. f. Also auch allgemein: die Wahrscheinlichkeit, daſs in der ganzen Reihe von Beobachtungen für jede einzelne Beobachtung die Fehler x, x', x'', x''' ... zusammentreffen, wird gleich

$$W = \varphi x . \varphi x' . \varphi x'' . \varphi x''' \ldots\ldots (A)$$

seyn.

Betrachten wir nun zuerst diese Function φx der Gröſse x etwas näher. Obschon uns die Form dieser Function noch ganz unbekannt ist, so läſst sich doch aus der Natur des Gegenstandes manche allgemeine Eigenschaft derselben schon jetzt ergeben. Erstens wird nämlich φx desto kleiner seyn, je gröſser x ist, und umgekehrt, weil die kleinern Fehler x im Allgemeinen öfter vorkommen, also wahrscheinlicher seyn werden, als die groſsen. Zweitens wird diese Wahrscheinlichkeit φx ein Minimum und zwar gleich Null seyn, wenn der Fehler x selbst ein Maximum ist, und umgekehrt. Endlich drittens wird diese Function φx für gleiche, aber in ihren Zeichen entgegengesetzte Werthe von x auch gleiche Werthe haben müssen, da es, wenn man irgend eine Gröſse z. B. um x Secunden fehlerhaft beobachten kann, gleich wahrscheinlich ist, diese Gröſse um x Secunden zu groſs oder auch um ebensoviel zu klein zu beobachten. Diesem gemäſs wird also auch die Wahrscheinlichkeit, daſs der Fehler der ersten Beobachtung zwischen den unendlich nahen Grenzen x und $x + \partial x$ liege, nach demselben Grundsatze gleich

$$\varphi x . \partial x$$

seyn, wo ∂x das gewöhnliche Differential der Gröſse x bezeichnet. Demnach wird also auch, dem Geiste der Integralrechnung zufolge, die Wahrscheinlichkeit, daſs der Fehler der ersten Beobachtung zwischen den beiden Grenzen a und b liege, gleich dem bestimmten Integral des Ausdrucks $\varphi x . \partial x$ zwischen diesen Grenzen, oder gleich

$$\int_a^b \varphi x . \partial x$$

seyn, und dieses Integral, von dem gröſsten negativen Werthe von x bis zu dem gröſsten positiven Werthe von x (oder allgemein von $x = -\infty$ bis $x = +\infty$) genommen, wird gleich der *Einheit* seyn, wenn nämlich, nach dem Vorhergehenden (erste Abtheilung Nr. I), die Einheit als das Symbol der Gewiſsheit angenommen wird.

Um nun diese Function φx in Beziehung auf ihre Form näher kennen zu lernen, wollen wir

$$\frac{\partial . \varphi x}{\varphi x} = \varphi' x . \partial x \ldots (B)$$

setzen und die Gröſse $\varphi' x$ suchen. Nehmen wir an, man hätte für die auf einander folgenden Werthe von x in einer Reihe von Beobachtungen die Gröſsen a, a', a''... gefunden. Sey n die Anzahl dieser Beobachtungen und

$$\psi = \frac{1}{n} (a + a' + a'' + \ldots),$$

also auch

$$0 = a + a' + a'' + \ldots - n\psi$$

oder

$$0 = (a - \psi) + (a' - \psi) + (a'' - \psi) + \ldots$$

und daher auch

$$0 = \varphi' (a - \psi) + \varphi' (a' - \psi) + \varphi' (a'' - \psi) + \ldots$$

Setzt man nun alle diese Werthe a', a'', a'''... unter sich gleich, und zwar

$$a' = a'' = a''' \ldots = a - bn,$$

so erhält man

$$\psi = \frac{1}{n}\Big[a + (a - bn) + (a - bn) + (a - bn) + \ldots\Big]$$

oder, was dasselbe ist,

$$\psi = \frac{1}{n}\Big[\, an - bn(n-1) \,\Big] = a - b(n-1),$$

so daſs also die vorhergehende Gleichung in folgende übergeht:

$$\begin{aligned} 0 = {} & \varphi'[a - a + b(n-1)] \\ & + \varphi'[a - bn - a + b(n-1)] \\ & + \varphi'[a - bn - a + b(n-1)] \\ & + \varphi'[a - bn - a + b(n-1)] + \ldots \end{aligned}$$

Diese Gleichung läfst sich auch so ausdrücken:

$$0 = \varphi'.b(n-1) + \varphi'.(-b) + \varphi'.(-b) + \varphi'.(-b) + \ldots$$

oder endlich auch so:

$$0 = \varphi'.b(n-1) + (n-1).\varphi'.(-b).$$

Setzt man in der letzten Gleichung für b die Gröfse x und für n nach und nach die natürlichen Zahlen 2, 3, 4..., so erhält man

$$0 = \varphi'.x + \varphi'.(-x)$$
$$0 = \varphi'.2x + 2\varphi'.(-x)$$
$$0 = \varphi'.3x + 3\varphi'.(-x) \text{ u. s. f.}$$

und daraus folgt, dafs die Gröfse $\varphi' x$ gleich dem Producte einer beständigen Gröfse k in die Gröfse x selbst seyn mufs, oder dafs man hat

$$\varphi' x = k x.$$

Substituirt man aber diesen Werth von $\varphi' x$ in der obigen Gleichung (B), so erhält man

$$\frac{\partial . \varphi x}{\partial x} = k x \partial x$$

oder, wenn man die natürlichen Logarithmen nimmt,

$$\text{Log. } \varphi x = \tfrac{1}{2} k x^2 + \text{Log. } C,$$

wo C eine Constante bezeichnet. Ist aber e die Basis der natürlichen Logarithmen und setzt man der gröfsern Einfachheit wegen die Constante $k = -2h^2$, so geht die letzte Gleichung in folgende über:

$$\varphi x = C . e^{-h^2 x^2} \ldots . (C)$$

und ist daher auch

$$\int \varphi x . \partial x = C . \int e^{-h^2 x^2} \partial x.$$

Um in dieser Gleichung die Constante C der Integration zu bestimmen, so ist nach dem oben Gesagten

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi x . \partial x = 1.$$

Allein das Integral

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-h^2 x^2} \partial x$$

zwischen denselben Grenzen, nämlich zwischen $x = -\infty$ und $x = +\infty$ genommen, ist bekanntlich gleich

$$\frac{1}{h} \cdot \sqrt{\pi},$$

wo π die bekannte Ludolph'sche Zahl 3,14159.. bezeichnet, und damit giebt die letzte Gleichung

$$1 = \frac{C}{h} \cdot \sqrt{\pi} \text{ oder } C = \frac{h}{\sqrt{\pi}},$$

so daſs also die Gleichung (C) in die folgende übergeht:

$$\varphi x = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2} \quad \ldots (D)$$

wodurch daher die gesuchte Function φx bestimmt worden ist. Diese Gleichung (D) sagt, daſs der wahrscheinlichste Werth der Gröſse x oder daſs der wahrscheinlichste Fehler x derjenige ist, für welchen die Summe der Quadrate der Differenzen zwischen diesem wahrscheinlichsten Fehler und den Fehlern der einzelnen Beobachtungen ein Minimum ist. Demnach wird die obige Gleichung (A) in die folgende übergehen:

$$W = \left(\frac{h}{\sqrt{\pi}}\right)^n \cdot e^{-h^2(x^2 + x'^2 + x''^2 + \ldots)},$$

wo also W die Wahrscheinlichkeit ausdrückt, daſs die Fehler der einzelnen Beobachtungen nach der Ordnung gleich $x, x', x'' \ldots$ sind.

Dieses vorausgesetzt sey nun durch Beobachtungen irgend einer Art eine Anzahl Gleichungen von folgender Form gegeben:

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon &= m + a x + b y + c z + \ldots \\ \varepsilon' &= m' + a' x + b' y + c' z + \ldots \\ \varepsilon'' &= m'' + a'' x + b'' y + c'' z + \ldots \end{aligned}\right\} \ldots (E)$$

wo die Anzahl dieser Gleichungen gröſser seyn soll, als die Anzahl der unbekannten Gröſsen x, y, z...., von welchen letztern nur ihre wahrscheinlichsten Werthe zu finden sind. In diesen Gleichungen bezeichnen m, a, b, c.., so wie m', a', b', c'.. u. s. w. bekannte oder gegebene Gröſsen. Die Gröſsen $\varepsilon, \varepsilon', \varepsilon''$.. aber sollten eigentlich alle gleich Null seyn, wenn nämlich die Beobachtungen, die jenen Gleichungen zu Grunde liegen, alle streng richtig wären. Da dieses aber im Allgemeinen bei keiner Beobachtung der Fall ist, so werden diese Gröſsen $\varepsilon, \varepsilon', \varepsilon''$... hier zwar im Allgemeinen nur kleine Gröſsen seyn, durch welche die *Fehler* der einzelnen Beobachtungen bezeichnet werden. Nach dem Vorhergehenden wird aber die vortheilhafteste Bestimmung der Gröſsen x, y, z.. diejenige seyn, für welche die Summe

$$\varepsilon^2 + \varepsilon'^2 + \varepsilon''^2 + \ldots = \Sigma . \varepsilon^2$$

der Quadrate dieser Beobachtungsfehler ε, ε', ε''.. ein Minimum, für welche also das Differential

$$\partial . \Sigma . \varepsilon^2 = 0$$

ist. Da jedoch die Grössen ε, ε', ε''... hier als Functionen von allen den unbekannten Grössen x, y, z.. auftreten, und da überdiess diese Grössen x, y, z.. im Allgemeinen von einander ganz unabhängig sind, so ist die letzte Gleichung allen den folgenden gleichgeltend:

$$\left.\begin{array}{l} \left(\frac{\partial . \Sigma . \varepsilon^2}{\partial x}\right) = 0 \\ \left(\frac{\partial . \Sigma . \varepsilon^2}{\partial y}\right) = 0 \\ \left(\frac{\partial . \Sigma . \varepsilon^2}{\partial z}\right) = 0 \end{array}\right\} \ldots (F)$$

u. s. w.

und da dieser Gleichungen genau ebenso viele sind, als man unbekannte Grössen x, y, z... hat, so wird man aus diesen Gleichungen (F) die gesuchten wahrscheinlichsten Werthe von x, y, z... auf dem bekannten Wege der Elimination bestimmen und dadurch die hier gegebene Aufgabe aufgelöst haben.

Sucht man nun aus den obigen Gleichungen (E) die Summe $\Sigma . \varepsilon^2 = \varepsilon^2 + \varepsilon'^2 + \varepsilon''^2 + \ldots$ und hebt dabei zuerst nur die in x multiplicirten Glieder aus, so erhält man

$$\left.\begin{array}{l} m^2 + a^2x^2 + 2amx + 2abxy + 2acxz + .. \\ + m'^2 + a'^2x'^2 + 2a'm'x + 2a'b'xy + 2a'c'xz + .. \\ + m''^2 + a''^2x^2 + 2a''m''x + 2a''b''xy + 2a''c''xz + .. \end{array}\right\}$$

oder auch, wenn man der Kürze wegen

$\int a^2 = a^2 + a'^2 + a''^2 + \ldots$; $\int ab = ab + a'b' + a''b'' + \ldots$ setzt,

$$\int m^2 + x^2 \int a^2 + 2x \int am + 2xy \int ab + 2xz \int ac + \ldots$$

und davon ist das in Beziehung auf x genommene und gleich Null gesetzte Differential

$$\left(\frac{\partial . \Sigma . \varepsilon^2}{\partial x}\right) = 0 \text{ oder } 0 = \int am + x\int aa + y\int ab + z\int ac + \ldots$$

und ganz eben so findet man auch

$$\left(\frac{\partial . \Sigma . \varepsilon^2}{\partial y}\right) = 0 \text{ oder } 0 = \int bm + x\int ba + y\int bb + z\int bc + \ldots \quad (G)\ldots$$

$$\left(\frac{\partial . \Sigma . \varepsilon^2}{\partial z}\right) = 0 \text{ oder } 0 = \int cm + x\int ca + y\int cb + z\int cc + \ldots$$

u. s. w.

und dieses sind daher die gesuchten Gleichungen, aus welchen man die wahrscheinlichsten Werthe von x, y, z... durch Elimination finden wird.

Indem wir nun zu den Anwendungen dieser allgemeinen Vorschriften übergehen, ist es unsere Absicht, die Sache für den *praktischen Gebrauch* gleich so zu stellen, dafs man sie, wie z. B. die bekannten und tabellarisch zusammengestellten Formeln der sphärischen Trigonometrie, für jeden vorliegenden speciellen Fall hier nehmen und unmittelbar anwenden kann[1].

III. Bestimmung einer einzelnen Beobachtungsgröfse.

Betrachten wir zuerst den einfachen Fall, wo man durch wiederholte Beobachtungen eine einzige bestimmte Gröfse sucht, z. B. die Polhöhe eines Ortes, die Rectascension eines Gestirns, die Ausdehnung eines gegebenen Körpers durch die Wärme u. dgl.

Seyen x, x_1, x_2... die durch diese einzelnen Beobachtungen unmittelbar erhaltenen Gröfsen. Sind diese Beobachtungen alle von gleichem Werthe, so dafs man in Beziehung auf ihre Güte und Genauigkeit keinen weitern Unterschied unter ihnen machen kann, so ist der wahrscheinlichste Werth dieser Gröfsen, den wir durch X bezeichnen wollen, gleich dem *arithmetischen Mittel* derselben, oder es ist

---

1 Die Beweise der aufgestellten Formeln würden zu viel Raum für einen einzelnen Artikel einnehmen, daher wir für diese Beweise auf die folgenden Quellen verweisen, in welchen sich die Gründe für die hier angezeigten Verfahren umständlich auseinandergesetzt finden werden. Gauss Theoria motus cet. Lib. II. Sect. III. Desselben Aufsatz in Lindenau's Zeitschrift für Astronomie Bd. I. S. 185; desselben Disquisitio de elementis Palladis in den Comment. Goetting. Vol. I. 1808—1811; desselben Theoria combinationis observationum erroribus minimis obnoxiae in den Comment. Götting. von den Jahren 1821—1823 Vol. I et II. mit dessen Supplementum, Götting. 1828 zu der letztgenannten Abhandlung. Laplace Théorie analytique de la probabilité. Legendre, nouvelle méthode pour la détermination des orbites des comètes. Paris 1806. Paucker, über die Anwendung der Methode der kleinsten Quadratsumme. Mitau 1819. Encke, Berliner astronomisches Jahrbuch für 1834. Seite 249 u. f.

$$X = \frac{x + x_1 + x_2 + x_3 + \ldots}{N} = \frac{1}{N} \cdot \Sigma \cdot x$$

wenn N die Anzahl der Beobachtungen bezeichnet. Es sey nun ε der Unterschied zwischen diesem wahrscheinlichsten Werthe X unserer Gröfsen und zwischen dem unmittelbaren Resultate x der ersten Beobachtung, oder es sey

$$\varepsilon = X - x,$$

und ebenso habe man auch

für die zweite Beobachtung ... $\varepsilon_1 = X - x_1$
für die dritte - ... $\varepsilon_2 = X - x_2$
für die vierte - ... $\varepsilon_3 = X - x_3$ u. s. w.

1) Man kann diese Gröfsen ε, ε_1, ε_2.. als die Fehler der einzelnen Beobachtungen ansehn. Bezeichnet man dann wieder der Kürze wegen die Summe der Quadrate ε^2, ε_1^2, ε_2^2, ε_3^2... durch $\Sigma \cdot \varepsilon^2$, so dafs man hat

$$\Sigma \cdot \varepsilon^2 = \varepsilon^2 + \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \ldots,$$

so heifst die Gröfse

$$P = \frac{N^2}{2 \Sigma \cdot \varepsilon^2}$$

das *Gewicht* (*Pondus*) jener Bestimmung von X oder das Gewicht dieses wahrscheinlichsten Werthes X von allen den Gröfsen x, x_1, x_2 u. s. f. Man sieht schon aus dem blofsen Anblicke dieses Ausdrucks von P, dafs dieses Gewicht desto gröfser seyn wird, je gröfser erstens die Anzahl der Beobachtungen ist, und je kleiner zweitens die Fehler ε, ε_1, ε_2.. der einzelnen Beobachtungen, d. h. je genauer diese Beobachtungen selbst seyn werden, wie dieses der Natur der Sache vollkommen gemäfs ist.

2) Es sey nun F der *wahrscheinliche Fehler*, den man bei dieser Bestimmung von X begangen hat. Dieser Fehler ist derjenige, von dem es gleich wahrscheinlich ist, ihn begangen oder auch ihn nicht begangen zu haben. Für diesen wahrscheinlichsten Fehler hat man den Ausdruck

$$F = \frac{0{,}4769363}{\sqrt{P}}.$$

Wollte man nämlich das Gewicht P als Einheit annehmen, so würde der wahrscheinliche Fehler F, wie diese Gleichung zeigt, constant und gleich 0,4769363 oder nahe gleich $\frac{1}{2}$, d. h. nahe gleich der Hälfte des Gewichts seyn. Wir werden weiter un-

ten, aus der ersten der dort anzuführenden Tafeln sehen, daſs die Wahrscheinlichkeit, daſs der Fehler F zwischen den beiden Grenzen $\pm \frac{0{,}4769363}{\sqrt{P}}$ liege, gleich $\frac{1}{2}$, also auch gleich dem Gegentheile ist, oder daſs man 1 gegen 1 wetten kann, daſs der Fehler F zwischen diesen beiden Grenzen liege.

3) Es giebt aber noch einen andern hier zu betrachtenden Fehler, den wir durch Φ bezeichnen und den *mittleren* Fehler nennen wollen. Dieser mittlere Fehler ist die Summe der Producte jedes Fehlers der einzelnen Beobachtungen in seine Wahrscheinlichkeit. Dieser mittlere Fehler Φ, den man bei der obigen Bestimmung von X begangen hat, wird durch den Ausdruck dargestellt

$$\Phi = \frac{1}{2\sqrt{\pi P}} = \frac{0{,}282095}{\sqrt{P}},$$

wo $\pi = 3{,}14159\ldots$ die Ludolph'sche Zahl bezeichnet. Diese beiden Fehler haben also zu einander ein constantes Verhältniſs, und es ist

$$\Phi = 0{,}59147\ F \text{ oder } F = 1{,}69069\ \Phi.$$

4) Diese beiden Fehler F und Φ beziehen sich auf das Resultat X, welches letzte man z. B. durch Hülfe des arithmetischen Mittels aus den einzelnen Beobachtungen erhalten hat. Allein wie F der wahrscheinliche Fehler dieses Resultats X aus allen Beobachtungen ist, so könnte man auch nach dem wahrscheinlichen Fehler f einer jeden einzelnen dieser Beobachtungen selbst fragen. Die folgende Formel giebt diesen *wahrscheinlichen Fehler jeder einzelnen Beobachtung*

$$f = 0{,}4769363 \sqrt{\frac{N}{P}}$$

oder auch

$$f = F \cdot \sqrt{N},$$

wo wegen des Wurzelzeichens die Gröſse f immer mit dem doppelten Zeichen $\pm$ verstanden wird.

Dieses ist also der wahrscheinlichste Fehler jeder einzelnen Beobachtung. Allein der *wirklich statt habende Fehler* jeder Beobachtung wird, der Natur der Sache nach, gröſser oder auch kleiner seyn können. Wenn z. B. der wahrscheinlichste Fehler einer beobachteten Polhöhe $f = \pm 3$ Secunden ist, so wird der wirklich statthabende Fehler dieser Beobachtung vielleicht

4 oder auch 5 Secunden seyn können, aber nicht leicht wird er z. B. auf 10 Secunden steigen, und ganz unwahrscheinlich, ja völlig unmöglich wird es uns gleich bei dem ersten Anblicke dieser Reihe von Beobachtungen erscheinen, daſs der Fehler von irgend einer derselben eine ganze Minute oder noch mehr betrage. Kurz, der wirklich statt habende Fehler jeder einzelnen Beobachtung wird wohl gröſser als f seyn können, aber er wird doch zwischen gewissen Grenzen zu beiden Seiten dieser Gröſse f eingeschlossen seyn, über die er nicht heraustreten kann. Auch diese *Grenzen des wirklich statt habenden Fehlers* jeder einzelnen Beobachtung giebt die Wahrscheinlichkeitsrechnung an; diese Grenzen sind nämlich

$$f.\left(1+\frac{0{,}4769363}{\sqrt{N}}\right) \text{ oder auch } F.(0{,}4769363+\sqrt{N}),$$

wo wieder $\sqrt{N}$ mit den doppelten Zeichen genommen werden muſs. Dieser letzte Ausdruck ist also so zu verstehen, daſs der wirklich statt habende Fehler jeder einzelnen Beobachtung zwischen die beiden Grenzen

$$F(0{,}4769363+\sqrt{N}) \text{ und } F(0{,}4769363-\sqrt{N})$$

fallen wird, oder daſs man 1 gegen 1 wetten kann, daſs der wahre Werth von f zwischen diese beiden Gröſsen fallen muſs.

5) Man könnte aber auch ganz allgemein nach der Wahrscheinlichkeit w fragen, daſs eine der bisher bestimmten Gröſsen (z. B. der mittlere Fehler Φ des Resultats X) zwischen zwei andere willkürliche Grenzen falle, z. B. zwischen die beiden Grenzen $\pm\frac{r}{\sqrt{P}}$, wo $P=\frac{N^2}{2\Sigma.\varepsilon^2}$ wieder das Gewicht jener Bestimmung von X und r irgend eine willkürliche Gröſse bezeichnet. Diese Wahrscheinlichkeit w wird nun durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$w=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^r e^{-r^2}\partial r,$$

wo $e=2{,}71828$ die Basis der natürlichen Logarithmen und wo das Integral von $r=0$ bis r genommen wird. Dieses Integral, welches bei höheren physikalischen und astronomischen Untersuchungen öfter vorkommt, verdient einige nähere Betrachtungen.

Zuerst bemerke man die zwei folgenden speciellen Fälle. Wenn das Integral von $r=0$ bis $r=\infty$ genommen wird, so hat man

$$\int_0^{\infty} e^{-r^2} \partial r = \tfrac{1}{2} \sqrt{\pi} = 0{,}8862269,$$

und wenn es von $r = -\infty$ bis $r = +\infty$ genommen wird, so ist

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-r^2} \partial r = \sqrt{\pi} = 1{,}7724538.$$

Ueberhaupt aber hat man, wenn r kleiner als die Einheit ist,

$$\int_0^r e^{-r^2} \partial r = r - \frac{r^3}{3} + \frac{1}{1.2} \cdot \frac{r^5}{5} - \frac{1}{1.2.3} \cdot \frac{r^7}{7} + \frac{1}{1.2.3.4} \cdot \frac{r^9}{9} - \ldots$$

oder auch

$$\int_0^r e^{-r^2} \partial r = \frac{r}{e^{r^2}} \left[1 + \frac{2r^2}{1.3} + \frac{(2r^2)^2}{1.3.5} + \frac{(2r^2)^3}{1.3.5.7} + \ldots \right]$$

Ist aber r gröfser als die Einheit, so wird man dieses Integral durch folgende Reihe ausdrücken:

$$\int_0^r e^{-r^2} \partial r = \tfrac{1}{2} \sqrt{\pi} - \frac{1}{2r.e^{r^2}} \cdot \left[1 - \frac{1}{2r^2} + \frac{1.3}{(2r^2)^2} - \frac{1.3.5}{(2r^2)^3} + \frac{1.3.5.7}{(2r^2)^4} - \ldots \right]$$

Man kann den vorhergehenden Ausdruck von

$$w = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^r e^{-r^2} \partial r$$

als die Area ABMP einer transcendenten Curve mBM darstellen, Fig.
deren Abscisse $AP = r$ und deren darauf senkrechte Ordinate 88.
$PM = y = \frac{2}{\sqrt{\pi}} . e^{-r^2}$ ist.

Es ist nämlich überhaupt

$$e^{-r^2} = 1 - r^2 + \frac{r^4}{1.2} - \frac{r^6}{1.2.3} + \frac{r^8}{1.2.3.4} - \ldots,$$

also ist auch die Ordinate jener krummen Linie

$$y = \frac{2}{\sqrt{\pi}} . e^{-r^2} = 1{,}12838 \left[1 - r^2 + \frac{r^4}{1.2} - \frac{r^6}{1.2.3} + \ldots \right]$$

und daher die Area ABMP derselben

$$\int y \partial r = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^r e^{-r^2} \partial r.$$

Die folgende kleine Tafel giebt die Ordinate y dieser Curve für mehrere Werthe von der Abscisse r derselben.

Tafel I.

r	$y = \frac{2}{\sqrt{\pi}} . e^{-r^2}$
0,0	1,12838
0,1	1,10716
0,2	1,08412
0,3	1,03124
0,4	0,96154
0,5	0,87878
0,6	0,78724
0,7	0,69128
0,8	0,59498
0,9	0,50196
1,0	0,41510
1,5	0,11894
2,0	0,02066
2,5	0,00218
3,0	0,00014
3,5	0,00001

Man sieht, dafs die Abscissenaxe pAP zugleich die Asymptote der Curve ist. Für eine unendlich grofse Abscisse r ist die Fläche dieser Curve gleich

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} . \int_0^\infty e^{-r^2} \partial r = \frac{2}{\sqrt{\pi}} . \frac{\sqrt{\pi}}{2} = 1,$$

also die ganze Fläche von AB zu beiden Seiten ins Unendliche gleich der Einheit. Wichtiger noch für den Gebrauch dieser Ausdrücke ist eine Tafel, die w durch r oder umgekehrt giebt. Die obige Formel

$$w = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^r e^{-r^2} \partial r$$

wird, wenn man in ihr statt des Integrals die oben aufgestellten Reihen substituirt, folgende Tafel geben.

Tafel II.

w	r	$\frac{w}{1-w}$
0,5	0,4769363	1,000000
0,6	0,5951161	1,5000000
0,7	0,7328691	2,3333333
0,8	0,9061939	4,0000000
0,8427008	1,0000000	5,3572874
0,9	1,1630872	9,0
0,99	1,8213864	99,0
0,999	2,3276754	999,0
0,9999	2,7510654	9999,0
1,00000	∞	∞

Diese Tafel zeigt z. B., daſs die Wahrscheinlichkeit, daſs der Fehler Φ zwischen den Grenzen $\pm\frac{1}{\sqrt{p}}$ liege, gleich $w = 0{,}8427008$ ist, und daſs also auch die Wahrscheinlichkeit des Gegentheils, daſs Φ nicht zwischen diesen zwei Grenzen liege, gleich $1 - w = 0{,}1572992$ ist, so daſs man daher die Gröſse w gegen $1-w$, oder daſs man die Gröſse $\frac{w}{1-w} = 5{,}3572874$ gegen die Einheit wetten darf, daſs der Fehler Φ in der That zwischen den Grenzen $\pm\frac{1}{\sqrt{p}}$ liege, oder mit andern Worten, daſs der Fehler Φ kleiner als $\frac{1}{\sqrt{p}}$ ist. Ebenso kann man 9999 gegen 1 (oder in runder Zahl 10000 gegen 1) wetten, daſs der Fehler Φ kleiner als $\frac{2{,}7510654}{\sqrt{p}}$ ist; aber man darf nur 4 gegen 1 wetten, daſs er kleiner als $\frac{0{,}9061939}{\sqrt{p}}$ ist u. s. w.

Wenn man diese Tafel interpolirt und dann umkehrt, so findet man daraus die folgende Tabelle, welche die Gröſsen $w = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^r e^{-r^2}\,\partial r$ und $\frac{w}{1-w}$ durch die bekannte oder gegebene Gröſse r ausdrückt.

Tafel III.

r	w	$\frac{w}{1-w}$
0,0	0,000000	0,000000
0,1	0,112463	0,126714
0,2	0,222702	0,286508
0,3	0,328626	0,489483
0,4	0,428392	0,749451
0,5	0,520500	1,085501
0,6	0,603856	1,524336
0,7	0,677801	2,103672
0,8	0,742101	2,877487
0,9	0,796908	3,923876
1,0	0,842700	5,357279
1,1	0,880205	7,347593
1,2	0,910314	10,150012
1,3	0,934008	14,153352
1,4	0,952285	19,957770
1,5	0,966105	28,502876
1,6	0,976348	41,279723
1,7	0,983790	60,690315
1,8	0,989090	90,659029
1,9	0,992790	137,696255
2,0	0,995322	212,766139
2,1	0,997024	335,021505
2,2	0,998140	536,634409
2,3	0,998860	876,192982
2,4	0,999314	1456,725947
2,5	0,999598	2486,562438
2,6	0,999768	4309,344828
2,7	0,999870	7691,307692
2,8	0,999928	13887,888888
2,9	0,999962	26314,789474
3,0	0,999982	55555,0
3,1	0,999992	124999,0
3,2	0,999998	499999,0
3,3	0,999999	999999,0

Diese Tafel ist so zu verstehen: daſs der Fehler ϖ liege

zwischen den Grenzen	dafür ist die Wahrscheinlichkeit	und dafür kann man wetten gegen die Einheit
$\pm \frac{0,1}{\sqrt{P}}$	0,112	0,127
$\pm \frac{0,5}{\sqrt{P}}$	0,520	1,085
$\pm \frac{1}{\sqrt{P}}$	0,843	5,357
$\pm \frac{2}{\sqrt{P}}$	0,995	213,0
$\pm \frac{3}{\sqrt{P}}$	0,999982	55555,0 u. s. w.

6) Wenden wir nun das Vorhergehende auf ein numerisches Beispiel an, um dadurch den praktischen Gebrauch der bisher aufgestellten Ausdrücke deutlicher zu machen. Nehmen wir an, man habe z. B. für die Polhöhe von Wien in zehn auf einander folgenden, im Allgemeinen gleich guten Beobachtungen die Resultate gefunden:

$x =$	48°12′ 35,″2	$x_5 =$	48°12′ 34″,7
$x_1 =$	34,6	$x_6 =$	35,4
$x_2 =$	35,4	$x_7 =$	34,8
$x_3 =$	35,0	$x_8 =$	35,6
$x_4 =$	34,2	$x_9 =$	35,2

Das arithmetische Mittel dieser Gröſse ist

$$X = 48°\ 12'\ 35'',01 = \frac{1}{N} \cdot \Sigma x$$

und diesen Werth X wollen wir als den wahrscheinlichsten Werth der Polhöhe jenes Orts annehmen, der aus diesen zehn Beobachtungen hervorgeht. Es sind aber die Differenzen dieses Resultats X von den einzelnen Beobachtungen

$X - x$ oder $\varepsilon = 35,01 - 35,2$ oder

$\varepsilon = -0,19$	und deren	$\varepsilon^2 = 0,0361$
$\varepsilon_1 = 0,41$	Quadrate	$\varepsilon_1^2 = 0,1861$
$\varepsilon_2 = -0,39$		$\varepsilon_2^2 = 0,1521$
$\varepsilon_3 = 0,01$		$\varepsilon_3^2 = 0,0001$
$\varepsilon_4 = 0,81$		$\varepsilon_4^2 = 0,6561$
$\varepsilon_5 = 0,31$		$\varepsilon_5^2 = 0,0961$
$\varepsilon_6 = -0,39$		$\varepsilon_6^2 = 0,1521$
$\varepsilon_7 = 0,21$		$\varepsilon_7^2 = 0,0441$
$\varepsilon_8 = -0,59$		$\varepsilon_8^2 = 0,3481$
$\varepsilon_9 = -0,19$		$\varepsilon_9^2 = 0,0361$
		$\Sigma . \varepsilon^2 = 1,7070$

Dieses vorausgesetzt ist das Gewicht P der vorhergehenden Bestimmung von X (nach §. 1) gleich

$$P = \frac{N^2}{2\Sigma.\varepsilon^2} = 29{,}291 \text{ und } \sqrt{P} = 5{,}4121\,; \quad \frac{1}{\sqrt{P}} = 0{,}1848.$$

Der wahrscheinlichste Fehler F dieses Resultats X ist (nach §. 2)

$$F = \frac{0{,}47694}{\sqrt{P}} = \pm\, 0'',0881.$$

Der mittlere zu befürchtende Fehler Φ desselben Resultats ist (nach §. 3)

$$\Phi = \frac{1}{2\sqrt{\pi P}} = \pm\, 0'',0521.$$

Endlich der wahrscheinliche Fehler f jeder einzelnen Beobachtung selbst (nach §. 4)

$$f = 0{,}47694 \sqrt{\frac{N}{P}} = \pm\, 0'',2787$$

und die wahrscheinliche Grenze dieses letzten Fehlers ist

$$f\left(1 \pm \frac{0{,}47694}{\sqrt{N}}\right) = 0{,}2787 \pm 0{,}0420$$

oder diese beiden Grenzen sind 0,3207 und 0,2367.

Man kann daher sagen, dafs mit diesem Instrumente, unter übrigens gleichen Umständen, jede einzelne Beobachtung dieser Art dem wahrscheinlichen Fehler f = 0'',28 unterworfen ist, und dafs dieser Fehler in der Ordnung nicht gröfser als 0'',32 und nicht kleiner als 0'',24 seyn wird.

Welches ist aber die Wahrscheinlichkeit w, dafs die Grenzen $\partial\Phi$ des mittlern zu befürchtenden Fehlers die Gröfse

$$\partial\Phi = \pm \frac{r}{\sqrt{P}}$$

nicht übersteigen, oder dafs der mittlere Fehler nicht gröfser als $\frac{r}{\sqrt{P}}$ sey, wo r irgend eine willkürliche Gröfse bezeichnet? Darauf sind die Antworten folgende. Ist r = 0,476936, so ist

$$\partial\Phi = \frac{0{,}476936}{5{,}4121} = 0{,}0881,$$

und da zu diesem r in der vorletzten Tafel II. der Werth w = 0,5 oder $\frac{w}{1-w} = 1$ gehört, so ist die Wahrscheinlichkeit, dafs der Fehler $\partial\Phi$ nicht gröfser als 0'',0881 sey, gleich 0,5, oder man kann 1 gegen 1 wetten, dafs der Fehler, den man in der obigen Bestimmung von X begangen hat, nicht gröfser als

0",0881 ist. Auch ist zuvor schon der wahrscheinlichste Fehler F des Resultats X gleich derselben Gröfse 0,0881 gefunden worden, wie es aus der Natur der Sache folgt. Für r = 1 giebt dieselbe Tafel (II) .. $w = 0{,}8427$ und $\frac{w}{1-w} = 5{,}35729$

$$\text{und } \partial . \Phi = \frac{1}{5{,}4121} = 0{,}1848.$$

Für $r = 2{,}32767$ hat man $w = 0{,}999$, $\frac{w}{1-w} = 999$ und

$$\partial . \Phi = \frac{2{,}32767}{5{,}4121} = 0{,}4301.$$

Ebenso folgt aus der letzten Tafel (III), dafs

$r = 0{,}5$ giebt $\partial . \Phi = \frac{0{,}5}{5{,}4121} = 0{,}0924$, $w = 0{,}5205$ und

$$\frac{w}{1-w} = 1{,}085.$$

Für $r = 1$ erhält man ebenso $\partial . \Phi = 0{,}1848$ und $\frac{w}{1-w} = 5{,}357$,

für $r = 2$ — — — $\partial . \Phi = 0{,}3695$ und $\frac{w}{1-w} = 212{,}766$,

oder, wie die letzte Zeile sagt: dafs der mittlere Fehler Φ, den wir oben gleich $\pm$ 0",0521 gefunden haben, zwischen die beiden Grenzen $\pm 0{,}3695$ falle, davon ist die Wahrscheinlichkeit $w = 0{,}9953$ oder schon sehr nahe gleich 1, das heifst, gleich der Gewifsheit, daher man auch 213 gegen 1 wetten kann, dafs dieser Fall eintreten werde.

7) Obschon die vorhergehenden Rechnungen selbst dem Ungeübten nicht beschwerlich fallen können, so lassen sie sich doch noch für die Ausübung etwas bequemer machen, ohne dadurch den Resultaten F, f und Φ bedeutenden Abbruch zu thun. Man kann nämlich statt der bisher gebrauchten Summe der Quadrate den Fehler $\Sigma . \varepsilon^2 = \varepsilon^2 + \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \ldots$ auch die Summe dieser Fehler selbst, oder die Gröfse

$$\Sigma . \varepsilon = \varepsilon + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \ldots$$

einführen, wo aber dann alle diese Gröfsen ε, ε_1, ε_2 ... durchaus *positiv* angenommen werden müssen. Dieses vorausgesetzt findet man für den wahrscheinlichen Fehler f jeder einzelnen Beobachtung den genäherten Ausdruck

$$f = 0{,}84535 \frac{\Sigma . \varepsilon}{N}.$$

In unserm Beispiele ist $\Sigma . \varepsilon = 3{,}50$, also auch

$$f = 0{,}296.$$

Setzt man also jene beiden Ausdrücke von f einander gleich, so erhält man

$$0{,}84535 \frac{\Sigma . \varepsilon}{N} = 0{,}47694 \sqrt{\frac{N}{P}},$$

oder man erhält für das Gewicht P den Ausdruck

$$P = 0{,}31831 \frac{N^3}{(\Sigma . \varepsilon)^2}.$$

Ist aber so P gefunden, so hat man, wie zuvor, die genäherten Werthe

$$\Phi = \frac{1}{2\sqrt{\pi P}},$$

$$F = \frac{0{,}47694}{\sqrt{P}},$$

$$f = 0{,}47694 \sqrt{\frac{N}{P}},$$

und endlich für die wahrscheinlichen Grenzen von f erhält man den Doppelausdruck

$$f\left(1 \pm \frac{0{,}47694}{\sqrt{N}}\right).$$

In unserm Beispiele ist, wenn alle ε positiv genommen werden, $\Sigma . \varepsilon = 3{,}50$, also ist auch

$$P = 25{,}984; \quad F = 0{,}094; \quad \Phi = 0{,}055$$

und $f = \pm 0{,}296$, so wie die Grenzen von f

$$0{,}341 \text{ und } 0{,}251,$$

welche Werthe nur unbeträchtlich von denen des §. 6 abweichen.

8) In dem Vorhergehenden haben wir die einzelnen Beobachtungen ohne Unterschied von gleicher Güte vorausgesetzt, allein man hat zuweilen Ursache, eine von mehrern Beobachtungen für etwa nur halb oder auch doppelt so gut, als die andern zu halten. Nehmen wir also allgemein an, dafs

c der Werth der ersten Beobachtung,
c_1 - - - zweiten —
c_2 - - - dritten — sey u. s. w.,

wo also, wenn z. B. $c = 1$; $c_1 = 2$; $c_2 = 3$ wäre, die 2te Beobachtung zweimal, die 3te dreimal besser angenommen wird, als die erste. Dieses vorausgesetzt hat man, wie die Wahrscheinlichkeitsrechnung zeigt, für den wahrscheinlichsten Werth X nicht mehr, wie zuvor, das arithmetische Mittel, sondern vielmehr folgende Gröſse zu nehmen:

$$X = \frac{c^2 x + c_1^2 x_1 + c_2^2 x_2 + c_3^2 x_3 + \ldots}{c^2 + c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \ldots} = \frac{\Sigma . c^2 x}{\Sigma . c^2}.$$

Sucht man dann wieder die Gröſsen

$$\varepsilon = X - x; \quad \varepsilon_1 = X - x_1; \quad \varepsilon_2 = X - x_2 \text{ u. s. w.,}$$

und setzt man

$$\Sigma . c^2 \varepsilon^2 = c^2 \varepsilon^2 + c_1^2 \varepsilon_1^2 + c_2^2 \varepsilon_2^2 + \ldots,$$

so erhält man, wie zuvor, für P, F, Φ und f die Ausdrücke

$$P = \tfrac{1}{2} N . \frac{\Sigma . c^2}{\Sigma . c^2 \varepsilon^2}; \quad \Phi = \frac{0{,}282095}{\sqrt{P}}$$

$$F = \frac{0{,}47694}{\sqrt{P}}; \quad G = \sqrt{\Sigma . c^2}$$

und

$$f = 0{,}47694 \sqrt{\frac{\Sigma . c^2}{P}}$$

und endlich für die wahrscheinlichsten Grenzen dieses letzten Fehlers f jeder einzelnen Beobachtung

$$f\left(1 \pm \frac{0{,}47694}{\sqrt{\Sigma . c^2}}\right).$$

In diesen Ausdrücken bezeichnet aber f nicht, wie zuvor, den wahrscheinlichen Fehler jeder einzelnen, sondern nur derjenigen Beobachtung, deren entsprechendes c gleich der Einheit ist, so wie auch die Gröſse G die Genauigkeit des Resultats X unter der Voraussetzung bezeichnet, daſs die Genauigkeit jeder einzelnen Beobachtung als Einheit angenommen wird. Der mit den obigen übereinstimmende Fehler jeder einzelnen Beobachtung überhaupt ist nämlich hier bei

der 1sten Beobachtung $f_0 = \frac{f}{c}$,

- 2ten — — $f_1 = \frac{f}{c_1}$,

- 3ten — — $f_2 = \frac{f}{c_2}$ u. s. w.

Setzt man in diese Ausdrücke $c = c_1 = c_2 \ldots = 1$, so ist $\Sigma . c^2 \varepsilon^2 = \Sigma \varepsilon^2$ und $\Sigma . c^2 = N$, und man erhält dann die obigen Ausdrücke unverändert wieder.

Seyen, um auch dieses auf ein Beispiel anzuwenden, die drei beobachteten Polhöhen

$x = 48° 12' 33''$ und der Werth dieser Beob. .. $c = 1$
$x_1 = 48 \;\; 12 \;\; 34$ - - - - - .. $c_1 = 2$
$x_2 = 48 \;\; 12 \;\; 35$ - - - - - .. $c_2 = 3$

so hat man

$$\begin{array}{rl} c^2 x = & 33 \\ c_1^2 x_1 = & 136 \\ c_2^2 x_2 = & 315 \\ \hline \Sigma . c^2 x = & 484 \end{array} \qquad \begin{array}{rl} c^2 = & 1 \\ c_1^2 = & 4 \\ c_2^2 = & 9 \\ \hline \Sigma . c^2 = & 14. \end{array}$$

Mit diesen Zahlen erhält man

$$X = \frac{\Sigma . c^2 x}{\Sigma . c^2} = 34{,}571$$

und

$$\begin{array}{l} \varepsilon = X - x = 1{,}571 \\ \varepsilon_1 = X - x_1 = 0{,}571 \\ \varepsilon_2 = X - x_2 = -0{,}429 \end{array} \qquad \begin{array}{rl} c^2 \varepsilon^2 = & 2{,}468 \\ c_1^2 \varepsilon_1^2 = & 1{,}304 \\ c_2^2 \varepsilon_2^2 = & 1{,}656 \\ \hline \Sigma . c^2 \varepsilon^2 = & 5{,}428 \end{array}$$

so dafs man daher hat

$$\begin{array}{ll} X = 34'',571 & F = 0{,}240 \\ P = 3{,}959 & G = 3{,}742 \\ \Phi = 0{,}142 & f = 0{,}415 \end{array}$$

und für die einzelnen Beobachtungen hat man die wahrscheinlichen Fehler

$\frac{f}{c} = 0{,}415$ für die Iste Beobachtung

$\frac{f}{c_1} = 0{,}207$ - - IIte - -

$\frac{f}{c_2} = 0{,}138$ - - IIIte - -

Da nun überhaupt $\frac{1}{\sqrt{P}} = 0{,}50258$ ist, so kann man, nach der Tafel III, die Gröfse 5,357 gegen 1 wetten, dafs der Fehler Φ kleiner als $\frac{1}{\sqrt{P}} = 0'',5026$ ist, und 213 gegen 1, dafs dieser Fehler kleiner als $\frac{2}{\sqrt{P}} = 1'',005$, und endlich 9999 gegen 1, dafs er kleiner als $\frac{2{,}32767}{\sqrt{P}} = 1'',17$ ist u. s. w. Hätte man in diesem Beispiele $c = c_1 = c_2 = 1$ genommen, so würde man (nach §. 1 — 5) erhalten haben,

$$X = \frac{\Sigma . x}{N} = 34'',00 \qquad \Sigma . \varepsilon^2 = 2$$

$$P = 2{,}25; \quad \Phi = 0{,}188; \quad F = 0{,}318;$$
$$G = 1{,}732 \text{ und } f = 0{,}551.$$

IV. Auflösung der Gleichungen mit einer einzigen unbekannten Gröfse durch die Methode der kleinsten Quadrate.

Einer der gewöhnlichsten Fälle bei Beobachtungen oder Experimenten ist der, wo man eine Gröfse, deren Werth man schon beinahe kennt oder für die man bereits eine genäherte Formel hat, durch eine Anzahl von Beobachtungen noch genauer bestimmen will. So hat man, um dieses sogleich durch ein einfaches Beispiel deutlich zu machen, für den Höhenunterschied H in Toisen von zwei Orten, an welchen man die Barometerhöhen b und b′ beobachtet hat, den bekannten Ausdruck

$$H = 9437 \text{ Log. } \frac{b}{b'},$$

wenn man die kleinen Correctionen wegen der Temperatur und der Polhöhe hier der Kürze wegen wegläfst. Da nun dieser

Factor 9437, von welchem die Höhenbestimmungen mit dem Barometer vorzüglich abhängen, noch keineswegs ganz genau bekannt ist, so wollen wir die noch unbekannte Verbesserung desselben durch x bezeichnen, so dafs also der eigentliche Werth dieses Factors gleich $9437 + x$ jene strenge Formel gleich

$$H = (9437 + x) \text{ Log. } \frac{b}{b'}$$

seyn soll. Beobachtet man nun in der That an zwei Orten die Barometerhöhen b und b', und kennt man zugleich aus anderen unmittelbaren, z. B. aus trigonometrischen Messungen die wahre Höhendifferenz dieser beiden Orte, die wir h nennen wollen, so wird man, da auch

$$(9437 + x) \text{ Log. } \frac{b}{b'}$$

diese wahre Höhendifferenz ausdrückt, die Gleichung haben

$$h = (9437 + x) \text{ Log. } \frac{b}{b'}$$

oder, da bereits oben $H = 9437 \text{ Log. } \frac{b}{b'}$ gefunden war,

$$h = H + x \text{ Log. } \frac{b}{b'},$$

oder

$$(h - H) - x \text{ Log. } \frac{b}{b'} = 0,$$

und da in dieser Gleichung blofs die unbekannte Gröfse x vorkommt, so wird man sie durch diese Gleichung selbst bestimmen und so den gesuchten Werth $9437 + x$ jenes Factors erhalten können.

Allein das Resultat h jener trigonometrischen Messung wird, da es doch wieder nur aus einer Beobachtung abgeleitet ist, ebenfalls als nicht ganz genau angesehn werden können. Nehmen wir an, der übrigens noch unbekannte Fehler dieser trigonometrischen Messung sey $= \varepsilon$, so dafs also eigentlich $h + \varepsilon$ der wahre Werth jenes Höhenunterschiedes seyn soll. Unter dieser Voraussetzung wird die obige Gleichung in die folgende übergehn:

$$(h + \varepsilon - H) - x \text{ Log. } \frac{b}{b'} = 0,$$

oder, wenn man der Kürze wegen die Differenz der durch Trigonometrie und durch das Barometer erhaltenen Höhen, d. h. wenn man die Differenz $h - H = \delta$ setzt,

$$\delta + \varepsilon - x \text{ Log. } \frac{b}{b'} = 0.$$

In dieser Gleichung wird der Factor Log. $\frac{b}{b'}$ irgend eine, aus den Barometerbeobachtungen hervorgegangene Zahl seyn, die wir der Kürze wegen durch a bezeichnen wollen, so dafs man also hat

$$\varepsilon = ax - \delta,$$

und dieses ist also die *Bedingungsgleichung* der ersten Beobachtung, in welcher demnach a und δ bekannte Gröfsen, x die zu suchende Correction und ε endlich der noch unbekannte Fehler dieser ersten Beobachtung ist. Eine zweite und dritte Beobachtung wird ganz ebenso die Bedingungsgleichungen geben

$$\varepsilon_1 = a_1 x - \delta_1,$$
$$\varepsilon_2 = a_2 x - \delta_2 \text{ u. s. w.},$$

und es wird nun darauf ankommen, denjenigen Werth der Gröfse x zu finden, der allen diesen Bedingungsgleichungen am besten entspricht, d. h. denjenigen Werth X, für welchen die Summe der Quadrate aller Beobachtungsfehler ε, ε_1, ε_2, ε_3 ... ein Kleinstes ist. Dieser Bedingung wird aber durch die Gleichung

$$\partial . (\varepsilon^2 + \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \ldots) = 0$$

Genüge geschehen. Substituirt man in ihr die vorhergehenden Werthe von ε, ε_1, ε_2 ..., so hat man

$$\partial . (ax - \delta)^2 + \partial . (a_1 x - \delta_1)^2 + \partial . (a_2 x - \delta_2)^2 + \ldots = 0,$$

also auch

$$x(a^2 + a_1^2 + a_2^2 + \ldots) - (a\delta + a_1 \delta_1 + a_2 \delta_2 + \ldots) = 0,$$

oder endlich, wenn man wieder die oben eingeführten Summenzeichen gebraucht,

$$x . \Sigma . a^2 - \Sigma . a\delta = 0,$$

so dafs also der gesuchte wahrscheinlichste Werth von x

$$X = \frac{\Sigma . a\delta}{\Sigma . a^2}$$

seyn wird, wo man hat

$$\Sigma . a\delta = a\delta + a_1\delta_1 + a_2\delta_2 + \ldots,$$
$$\Sigma . a^2 = a^2 + a_1^2 + a_2^2 + \ldots$$

Hat man so den wahrscheinlichsten Werth X der Gröſse x gefunden, so wird man die Gröſsen P, Φ, F, f und G im Allgemeinen durch die den obigen ganz ähnlichen Ausdrücke bestimmen können. Setzt man nämlich

$$\Sigma . \varepsilon^2 = (aX - \delta)^2 + (a_1 X - \delta_1)^2 + (a_2 X - \delta_2)^2 + \ldots,$$

so findet man für das Gewicht P jener Bestimmung von X den Ausdruck

$$P = \tfrac{1}{2} N . \frac{\Sigma . a^2}{\Sigma . \varepsilon^2},$$

wo wieder N die Anzahl der Beobachtungen bezeichnet. Auch sieht man leicht, daſs man die Gröſse $\Sigma . \varepsilon^2$ einfacher durch den folgenden Ausdruck erhält:

$$\Sigma . \varepsilon^2 = \Sigma . \delta^2 - \frac{(\Sigma . a\delta)^2}{\Sigma . a^2}.$$

Kennt man so den Werth von P, so ist der mittlere zu befürchtende Fehler Φ des Resultates X

$$\Phi = \frac{1}{2\sqrt{\pi P}} = \frac{0{,}282095}{\sqrt{P}};$$

der wahrscheinliche Fehler dieses Resultats aber ist

$$F = \frac{0{,}47694}{\sqrt{P}}$$

und die Genauigkeit (Präcision) dieser Bestimmung des Resultats, die Genauigkeit der einzelnen Beobachtungen als Einheit angenommen, ist

$$G = \frac{f}{F} = \sqrt{\Sigma . a^2}.$$

Endlich ist der wahrscheinliche Fehler f jeder einzelnen Beobachtung selbst

$$f = 0{,}47694 \sqrt{\frac{\Sigma . a^2}{P}}$$

und die wahrscheinlichen Grenzen derselben

$$f\left(1 \pm \frac{0{,}47694}{\sqrt{N}}\right).$$

Setzt man in diesen Ausdrücken von P, Φ, F und f die Gröſsen

$a = a_1 = a_2 \ldots$ und δ, δ_1, δ_2 .. gleich x, x_1, x_2 .., wodurch $\Sigma a^2 = a^2 + a^2 + a^2 + \ldots = N$ wird, so erhält man die in Nr. III. gegebenen Ausdrücke wieder, wie es seyn soll.

Beispiel. Seyen aus den unmittelbaren Beobachtungen folgende fünf Bedingungsgleichungen gefunden worden:

$$1{,}50\,x - 0{,}72 = \varepsilon$$
$$1{,}46\,x - 0{,}68 = \varepsilon_1$$
$$1{,}52\,x - 0{,}82 = \varepsilon_2$$
$$1{,}43\,x - 0{,}78 = \varepsilon_3$$
$$1{,}48\,x - 0{,}69 = \varepsilon_4.$$

Hier ist also

$$a = 1{,}50; \quad a_1 = 1{,}46 \text{ u. f.}$$
$$\delta = 0{,}72, \quad \delta_1 = 0{,}68 \text{ u. f.}$$

also auch, wie man sofort findet,

$$\Sigma.a^2 = 10{,}9273; \quad \Sigma.\delta^2 = 2{,}7377; \quad \Sigma.a\delta = 5{,}4558$$

und daraus folgt

$$\Sigma.\varepsilon^2 = \Sigma\delta^2 - \frac{(\Sigma.a\delta)^2}{\Sigma.a^2} = 0{,}0137,$$

also auch

$$X = \frac{\Sigma.a\delta}{\Sigma.a^2} = 0{,}4993; \quad P = 1994{,}033.$$

Ferner hat man

$$\Phi = 0{,}00632; \quad F = 0{,}01068; \quad G = 3{,}3056$$

und

$$f = 0{,}03531,$$

so wie die Grenzen von f

$$0{,}04284 \text{ und } 0{,}02778.$$

Es ist daher die Wahrscheinlichkeit	oder man kann gegen die Einheit wetten	dafs Φ kleiner sey als
0,520	1,085	0,01119
0,843	5,357	0,0224
0,995	212,77	0,0448 u. f.

Das Vorhergehende setzt voraus, dafs die Werthe aller Bedingungsgleichungen unter sich gleich grofs sind. Ist aber von der Bedingungsgleichung

$$\begin{aligned} &\varepsilon = ax - \delta \text{ der Werth } c \\ \text{von } &\varepsilon_1 = a_1 x - \delta_1 \quad - \quad - \quad c_1 \\ \text{von } &\varepsilon_2 = a_2 x - \delta_2 \quad - \quad - \quad c_2 \text{ u. s. w.,} \end{aligned}$$

so hat man für die Gröſsen X, P, Φ ... folgende Ausdrücke, wo wieder $\varepsilon = aX - \delta$, $\varepsilon_1 = a_1 X - \delta_1$ ... ist:

$$X = \frac{\Sigma . c^2 a \delta}{\Sigma . c^2 a^2}; \quad P = \tfrac{1}{2} N . \frac{\Sigma . c^2 a^2}{\Sigma . c^2 \varepsilon^2}; \quad F = \frac{0{,}47694}{\sqrt{P}};$$

$$\Phi = \frac{0{,}28209}{\sqrt{P}}; \quad G = \sqrt{\Sigma . c^2 a^2}; \quad f = 0{,}47694 \sqrt{\frac{\Sigma . c^2 a^2}{P}}$$

und für die beiden Grenzen von f

$$f \left(1 \pm \frac{0{,}47694}{\sqrt{N.}}\right).$$

Setzt man in diesen Gleichungen $c = c_1 = c_2$ ... gleich der Einheit, so ist $\Sigma . c^2 a \delta = \Sigma . a \delta$; $\Sigma . c^2 a^2 = \Sigma . a^2$ und $\Sigma . c^2 \varepsilon^2 = \Sigma . \varepsilon^2$ und man erhält die vorhin gegebenen Ausdrücke wieder.

Beispiel. Seyen die drei gegebenen Bedingungsgleichungen

$$\begin{aligned} 2x - 2{,}5 &= \varepsilon \text{ mit dem Werthe } c = 1 \\ 3x - 5{,}0 &= \varepsilon_1 \quad - \quad - \quad - \quad c_1 = 2 \\ 4x - 6{,}0 &= \varepsilon_2 \quad - \quad - \quad - \quad c_2 = 3, \end{aligned}$$

so daſs also die zweite Beobachtung zweimal und die dritte dreimal so gut, als die erste, angenommen wird.

Diese Gleichungen geben

$$\Sigma . c^2 a^2 = 184, \quad \Sigma . c^2 a \delta = 281,$$

also auch

$$X = \frac{\Sigma . c^2 a \delta}{\Sigma . c^2 a^2} = 1{,}52717.$$

Mit diesem Werthe von X erhält man

$$\varepsilon = aX - \delta = 3{,}05434 - 2{,}5 = 0{,}5543$$

und ebenso

$$\varepsilon_1 = -0{,}4184 \text{ und } \varepsilon^2 = 0{,}1088,$$

so daſs man daher hat

$$\Sigma . c^2 \varepsilon^2 = 1{,}11413.$$

Dieses vorausgesetzt erhält man dann für die zu bestimmenden Gröſsen

$P = 247{,}7263$, $F = 0{,}03030$, $\Phi = 0{,}01792$,
$G = 13{,}565$, $f = 0{,}41104$.

Es ist daher die Wahrscheinlichkeit	oder man kann gegen die Einheit wetten	daſs Φ kleiner sey als
0,520	1,085	0,0317
0,843	5,357	0,0635
0,995	213,0	0,1270.

Man kann aber auch den Fall, wo die einzelnen Bedingungsgleichungen ungleiche Werthe haben, unmittelbar auf den vorigen Fall, wo alle Werthe gleich sind, zurückbringen, und daher ganz nach den anfangs gegebenen Gleichungen rechnen, wenn man nur zuvor jede der gegebenen Bedingungsgleichungen durch ihren Werth von c, c_1, c_2 .. multiplicirt. So hat man in dem letzten Beispiele die neuen Bedingungsgleichungen

$$\begin{aligned} 2x - 2{,}5 &= \varepsilon \\ 6x - 10{,}0 &= \varepsilon_1 \\ 12x - 18{,}0 &= \varepsilon_2, \end{aligned}$$

wo die Werthe aller dieser Gleichungen unter sich dieselben sind. Behandelt man daher die so modificirten Beobachtungen nach den ersten Ausdrücken dieses Abschnittes, so erhält man

$$\Sigma . a^2 = 184; \quad \Sigma . \delta^2 = 430{,}25; \quad \Sigma . a\delta = 281,$$

also ist auch

$$X = \frac{\Sigma . a\delta}{\Sigma . a^2} = 1{,}52717,$$

$$\Sigma . \varepsilon^2 = \Sigma . \delta^2 - \frac{(\Sigma . a\delta)^2}{\Sigma . a^2} = 1{,}1142,$$

$$P = \tfrac{1}{2} N . \frac{\Sigma . a^2}{\Sigma . \varepsilon^2} = 247{,}7113; \quad \Phi = \frac{0{,}282095}{\sqrt{P}} = 0{,}01792,$$

$$F = \frac{0{,}47694}{\sqrt{P}} = 0{,}03030,$$

$$G = \sqrt{\Sigma . a^2} = 13{,}565$$

und

$$f = 0{,}47694 \sqrt{\frac{\Sigma . a^2}{P}} = 0{,}41105,$$

welche Werthe auch mit den vorhergehenden genau überein-

stimmen. Noch hat man für die wahrscheinlichen Fehler der 1sten, 2ten und 3ten Beobachtung

$$\frac{f}{c} = 0,411$$

$$\frac{f}{c_1} = 0,205$$

$$\frac{f}{c_2} = 0,137.$$

Man wird wohl nur selten im Stande seyn, die Werthe der einzelnen Beobachtungen unter einander anzugeben und sie dadurch gleichsam gegen einander abzuwägen. Aber oft fügt es sich, daſs man bei einer groſsen Menge von Beobachtungen dieselben in zwei, drei oder mehrere Gruppen theilt, indem man z. B. die Summe der ersten zehn Bedingungsgleichungen als die erste Gruppe, die Summe der folgenden zwanzig als die zweite Gruppe, die der nächstfolgenden dreiſsig als die dritte Gruppe ansieht u. s. f., wo man dann der ersten Gruppe den Werth $c = 10$, der zweiten den Werth $c_1 = 20$, der dritten den Werth $c_2 = 30$ u. s. w. geben kann, vorausgesetzt, daſs die ersten, ursprünglichen Beobachtungen, wie man doch gewöhnlich annehmen muſs, im Allgemeinen alle gleiche Werthe unter sich haben. Diese Gruppirungen haben auch noch den groſsen Vortheil für die Rechnung, daſs dadurch die Anzahl der dieser Rechnung zu Grunde zu legenden Bedingungsgleichungen bedeutend kleiner und daher die Berechnung derselben auch viel bequemer wird, besonders wenn, wie in den nun folgenden Abschnitten, *mehrere* unbekannte Gröſsen x, y, z ... durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung zu bestimmen sind.

V. Auflösung der Gleichungen mit zwei unbekannten Gröſsen durch die Methode der kleinsten Quadrate.

Wir wollen nun zu solchen Beobachtungen übergehen, in welchen *zwei* unbekannte Gröſsen zugleich zu bestimmen sind. Um den Gegenstand auch hier zuerst durch ein Beispiel zu erläutern, nehmen wir an, daſs man die wahre Länge A des Se-

cundenpendels für irgend eine geographische Breite φ bestimmen soll. Der bekannte Ausdruck dafür ist

$$A = 439{,}23 + 2{,}39 \text{ Sin.}^2 \varphi,$$

wo A in Pariser Duodecimallinien ausgedrückt wird. Allein die beiden numerischen Coefficienten 439,23 und 2,39 sind keineswegs als schon ganz genau anzusehn, vielmehr bedürfen sie noch einer gewissen Verbesserung, die man natürlich nur aus unmittelbaren Beobachtungen ableiten kann. Seyen diese verbesserten Werthe jener beiden Factoren

$$(439{,}23 + x) \text{ und } (2{,}39 + y).$$

Gesetzt man habe nun unter einer gegebenen Breite φ die Pendellänge durch eine unmittelbare Beobachtung gleich B gefunden. Diese Beobachtung ist aber, der Natur der Sache nach, auch nicht als ganz richtig anzusehn. Nehmen wir also an, dafs man eigentlich die wahre Pendellänge aus dieser Beobachtung gleich $(B + \varepsilon)$ hätte finden sollen, so dafs also ε den übrigens noch unbekannten Fehler dieser Beobachtung bezeichnet. Da nun sowohl $(B + \varepsilon)$ als auch

$$(439{,}23 + x) + (2{,}39 + y) \text{ Sin.}^2 \varphi$$

den *wahren* Ausdruck der Pendellänge vorstellt, so wird man, wenn man diese zwei Ausdrücke einander gleich stellt, die Gleichung erhalten

$$(B + \varepsilon) = 439{,}23 + x + (2{,}39 + y) \text{ Sin.}^2 \varphi.$$

Zieht man aber davon die bereits oben erhaltene Gleichung $A = 439{,}23 + 2{,}39 \text{ Sin.}^2 \varphi$ ab, so erhält man

$$B - A + \varepsilon = x + y \text{ Sin.}^2 \varphi,$$

oder auch, wenn man den Unterschied zwischen dem Resultate B der unmittelbaren Beobachtung und dem Resultate A der Berechnung gleich δ, oder wenn man $B - A = \delta$ setzt,

$$\varepsilon = x + y \text{ Sin.}^2 \varphi - \delta,$$

und dieses ist also die gesuchte Bedingungsgleichung, die zu dieser ersten Beobachtung gehört. Wir wollen diese Bedingungsgleichung überhaupt so ausdrücken:

$$\varepsilon = a x + b y - \delta.$$

Eine zweite Beobachtung an diesem oder auch an einem andern Orte giebt ebenso

$$\varepsilon_1 = a_1 x + b_1 y - \delta_1,$$

eine dritte

$$\varepsilon_2 = a_2 x + b_2 y - \delta_2 \text{ u. s. f.}$$

und es wird nun darum zu thun seyn, diejenigen Werthe von x und y zu finden, die allen diesen Bedingungsgleichungen am besten genügen.

Bemerken wir aber zuerst, dafs hier, wie überall in der Wahrscheinlichkeitsrechnung, die Anzahl der Beobachtungen, also auch, da jede Beobachtung eine Bedingungsgleichung giebt, die Anzahl dieser Gleichungen *gröfser* vorausgesetzt wird, als die Anzahl der durch sie zu bestimmenden Gröfsen x, y, z.., dafs also, wie man zu sagen pflegt, das Problem *mehr als bestimmt* (*plus quam determinatum*) seyn soll. Wäre nämlich die Anzahl der Gleichungen *gleich* der Anzahl der unbekannten Gröfsen, oder wäre die Aufgabe eine *bestimmte*, so hätte die Wahrscheinlichkeitsrechnung keine weitere Anwendung mehr. Hätte man z. B. für die Pendellänge nur die zwei Gleichungen

$$\varepsilon = ax + by - \delta$$

und

$$\varepsilon_1 = a_1 x + b_1 y - \delta_1,$$

so würde man diesen Gleichungen am besten oder eigentlich nur dann überhaupt Genüge thun, wenn man aus ihnen die beiden Gröfsen x und y auf dem gewöhnlichen Wege der Elimination bestimmte, da durch zwei Gleichungen zwei unbekannte Gröfsen immer vollkommen bestimmt werden. Wäre endlich die Anzahl der Gleichungen sogar noch kleiner, als die Anzahl der unbekannten Gröfsen, so wäre die Aufgabe eine sogenannte *unbestimmte*, in welcher man nämlich eine oder mehrere dieser unbekannten Gröfsen willkürlich oder gewissen willkürlichen Bedingungen gemäfs annehmen müfste, was offenbar wieder dem Geiste der Wahrscheinlichkeitsrechnung fremd ist. In den Naturwissenschaften ist es aber eine Hauptvorschrift, durch Vervielfältigung der Beobachtungen und Versuche sich der völligen Richtigkeit der aus ihnen abzuleitenden Resultate möglichst zu nähern, so dafs man also, wie gesagt, in allen den hierher gehörenden Aufgaben die Anzahl der Bedingungsgleichungen *gröfser*, oft bedeutend gröfser annehmen mufs, als die Anzahl der durch sie zu bestimmenden Gröfsen. Um nun die wahrscheinlichsten Werthe der Gröfsen x und y aus den

obigen Gleichungen zu finden, werden wir wieder annehmen, daſs es diejenigen sind, für welche die Summe der Quadrate der Beobachtungsfehler

$$\varepsilon^2 + \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \ldots = \Sigma . \varepsilon^2$$

ein Kleinstes ist, oder für welche man hat

$$\partial . \Sigma . \varepsilon^2 = 0.$$

Da aber die Gröſsen x und y im Allgemeinen von einander unabhängig sind, so ist die letzte Gleichung eigentlich den folgenden beiden gleichgeltend:

$$\left(\frac{\partial . \Sigma . \varepsilon^2}{\partial x}\right) = 0 \text{ und } \left(\frac{\partial . \Sigma . \varepsilon^2}{\partial y}\right) = 0.$$

Die erste dieser Gleichungen giebt, da

$$\varepsilon = ax + by - \delta$$

ist, wenn man sie aufs Quadrat erhebt,

$$\varepsilon^2 = a^2 x^2 + b^2 y^2 + 2(abxy - a\delta x - b\delta y) + \delta^2,$$

und wenn davon das Differential in Beziehung auf x gleich Null gesetzt wird, so hat man

$$a^2 x + aby - a\delta = 0.$$

Ebenso giebt die zweite Bedingungsgleichung $\varepsilon_1 = a_1 x + b_1 y - \delta_1$

$$a_1^2 x + a_1 b_1 y - a_1 \delta_1 = 0$$

und die dritte

$$a_2^2 x + a_2 b_2 y - a_2 \delta_2 = 0 \text{ u. s. w.}$$

und wenn man alle diese Gleichungen addirt, um die Summe $\left(\frac{\partial . \Sigma . \varepsilon^2}{\partial x}\right) = 0$ zu erhalten,

$$x \Sigma . a^2 + y \Sigma . ab - \Sigma . a\delta = 0 \ \ldots \ (I).$$

Ganz auf dieselbe Art erhält man auch aus der zweiten der vorhergehenden Gleichungen oder aus $\left(\frac{\partial . \Sigma . \varepsilon^2}{\partial y}\right) = 0$ den Ausdruck

$$y \Sigma . b^2 + x \Sigma . ab - \Sigma . b\delta = 0 \ \ldots \ (II),$$

und diese beiden Gleichungen (I) und (II) geben also die gesuchten wahrscheinlichsten Werthe von x und y, die wir wieder, wie oben, durch X und Y bezeichnen wollen. Man erhält nämlich durch Elimination aus diesen beiden Gleichungen, wenn man der Kürze wegen

$$k = \Sigma a^2 . \Sigma b^2 - (\Sigma ab)^2$$

annimmt, die folgenden Ausdrücke:

$$X = \frac{1}{k} . \left[\Sigma b^2 . \Sigma a\delta - \Sigma ab . \Sigma b\delta\right]$$

$$Y = \frac{1}{k} . \left[\Sigma a^2 . \Sigma b\delta - \Sigma ab . \Sigma a\delta\right].$$

Kennt man so einmal diese wahrscheinlichsten Werthe X und Y der beiden Gröfsen x und y, so findet man die *Gewichte* P_x und P_y dieser Resultate, so wie die *wahrscheinlichsten Fehler* F_x und F_y derselben durch die Ausdrücke

$$P_x = \tfrac{1}{2} N . \frac{k}{\Sigma b^2 . \Sigma \varepsilon^2} \text{ und } F_x = \frac{0{,}47694}{\sqrt{P_x}}$$

$$P_y = \tfrac{1}{2} N . \frac{k}{\Sigma a^2 . \Sigma \varepsilon^2} \text{ und } F_y = \frac{0{,}47694}{\sqrt{P_y}}$$

und endlich die *mittleren* zu befürchtenden Fehler

$$\Phi_x = \frac{0{,}28209}{\sqrt{P_x}}$$

$$\Phi_y = \frac{0{,}28209}{\sqrt{P_y}},$$

wo in den Ausdrücken für P_x und P_y die Gröfse

$$\varepsilon = a\ X + b\ Y - \delta$$
$$\varepsilon_1 = a_1 X + b_1 Y - \delta_1$$
$$\varepsilon_2 = a_2 X + b_2 Y - \delta_2 \text{ u. s. w. ist.}$$

Noch ist übrig, die *Genauigkeit* (oder die Präcision) G_x und G_y dieser zwei Resultate X und Y, und endlich die wahrscheinlichen Fehler f der einzelnen Beobachtungen selbst zu bestimmen. Zu diesem Zwecke wollen wir die beiden Gleichungen (I) und (II) so ausdrücken:

$$\xi = - \Sigma a\delta + x . \Sigma a^2 + y . \Sigma ab$$
$$v = - \Sigma b\delta + y . \Sigma b^2 + x . \Sigma ab.$$

Leitet man aus ihnen durch die bekannte Methode der Reversion zwei andere Gleichungen ab, welche die Gröfsen x und y durch ξ und v ausdrücken, und welche die Form haben werden:

$$\left.\begin{array}{l} x = L + A\xi + Bv \\ y = L' + A'\xi + B'v \end{array}\right\} \ldots \text{(III)},$$

so sind $x = L$ und $y = L'$ die wahrscheinlichsten Werthe der Gröſsen x und y, dieselben, die wir schon oben auf einem andern Wege gefunden haben, oder mit andern Worten: es ist

$$X = L \text{ und } Y = L'.$$

Die Genauigkeit dieser Bestimmungen von X und Y aber ist, wenn man die Genauigkeit der einzelnen Beobachtungen gleich der Einheit voraussetzt,

$$\text{für } X \ldots \quad G_x = \frac{1}{\sqrt{A}}$$

und

$$\text{für } Y \ldots \quad G_y = \frac{1}{\sqrt{B'}}.$$

Endlich ist noch, wie zuvor, der wahrscheinliche Fehler f jeder einzelnen Beobachtung

$$f = F_x . G_x = F_y . G_y.$$

Wenden wir diese Ausdrücke auf das folgende Beispiel an, für welches folgende drei Bedingungsgleichungen gegeben seyn sollen:

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon &= x + y - 3 \\ \varepsilon_1 &= x - 2y + 4 \\ \varepsilon_2 &= 3x - y - 2 \end{aligned}\right\}.$$

Diese Gleichungen geben sofort

$$\Sigma a^2 = 11 \qquad \Sigma b^2 = 6 \qquad \Sigma ab = -4$$
$$\Sigma b\delta = 9 \qquad \Sigma a\delta = 5 \qquad k = 50$$

also sind auch die wahrscheinlichsten Werthe der beiden Gröſsen x und y

$$X = \frac{33}{25} = 1{,}32000 \text{ und}$$

$$Y = \frac{119}{50} = 2{,}38000.$$

Mit diesen Werthen erhält man

$$\varepsilon = X + Y - 3 = 0{,}70,$$
$$\varepsilon_1 = 0{,}56 \text{ und } \varepsilon_2 = -0{,}42,$$

also auch

$$\Sigma . \varepsilon^2 = 0{,}9800.$$

Wir erhalten daher für die beiden obigen Bestimmungen von X und Y die Gewichte

$$P_x = \frac{3}{2} \cdot \frac{50}{5{,}88} = 12{,}7551,$$

$$P_y = \frac{3}{2} \cdot \frac{50}{10{,}78} = 6{,}9573.$$

Die wahrscheinlichsten Fehler aber sind

$$F_x = 0{,}13354, \qquad F_y = 0{,}18082$$

und die mittlern zu befürchtenden Fehler

$$\Phi_x = 0{,}0790, \qquad \Phi_y = 0{,}1069.$$

Weiter geben die beiden Gleichungen (I) und (II)

$$\left.\begin{aligned} \xi &= 11x - 4y - 5 \\ v &= 6y - 4x - 9 \end{aligned}\right\}$$

woraus man durch Reversion erhält

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{33}{25} + \frac{3}{25}\,\xi + \frac{2}{25}\,v \\ y &= \frac{119}{50} + \frac{4}{50}\,\xi + \frac{11}{50}\,v \end{aligned}\right\}$$

woraus sofort wieder die wahrscheinlichsten Werthe der Grössen x und y oder

$$X = \frac{33}{25} \text{ und } Y = \frac{119}{50}$$

wie zuvor folgen, und wo man zugleich für die Genauigkeit der Bestimmungen dieser zwei Resultate erhält

$$G_x = \sqrt{\frac{25}{3}} = 2{,}8867 \text{ und}$$

$$G_y = \sqrt{\frac{50}{11}} = 2{,}1320.$$

Endlich ist noch der wahrscheinliche Fehler jeder einzelnen Beobachtung

$$f = F_x \cdot G_x = F_y \cdot G_y = 0{,}3855.$$

Man kann aber auch die etwas unbequeme Einführung der Grössen ξ und v ganz entbehren und die Auflösung der ganzen Aufgabe auf folgende einfache Ausdrücke zurückführen. Es ist nämlich, alles andere wie zuvor genommen, die Genauigkeit G_x und G_y der Resultate X und Y auch gleich

$$G_x = \sqrt{\frac{k}{\Sigma b^2}} \text{ und } G_y = \sqrt{\frac{k}{\Sigma a^2}},$$

wo wieder $k = \Sigma a^2 . \Sigma b^2 - (\Sigma . ab)^2$, wie zuvor.

In unserm Beispiele war $k = 50$, $\Sigma a^2 = 11$ und $\Sigma b^2 = 6$, also ist auch

$$G_x = 2{,}8867 \text{ und } G_y = 2{,}1320, \text{ wie zuvor.}$$

Man sieht, daſs in diesem Beispiele die Gröſse X genauer bestimmt ist als Y und zwar in dem Verhältniſs von

$$\frac{2,8867}{2,1320} = \frac{1,354}{1}.$$

Nach der vorhergehenden Tafel (II) findet man für die Bestimmung der Gröſse X folgende Grenzen. Für $r = 1$ ist $\frac{r}{\sqrt{P_x}} = \frac{1}{\sqrt{12,7551}} = 0,280$, so daſs man also $\frac{w}{1-w} = 5,357$ gegen 1 wetten kann, daſs der Fehler von X nicht gröſser als 0,28 ist. Für $r = 2,3276$ ist $\frac{r}{\sqrt{P_x}} = 0,672$, so daſs man 999 oder in runder Zahl 1000 gegen 1 wetten kann, daſs dieser Fehler nicht gröſser als 0,672 ist. Für die weniger genau bestimmte Gröſse Y hat man für $r=1$, $\frac{r}{\sqrt{P_y}} = 0,379$ und

für $r = 2,3276$, $\frac{r}{\sqrt{P_y}} = 0,882$,

so daſs man also 5,357 gegen 1 wetten kann, daſs der Fehler von Y kleiner als 0,379, und 1000 gegen 1, daſs dieser Fehler kleiner als 0,882 ist. Ebenso giebt die Tafel (III) für die Grenzen von Φ_x

	w	$\frac{w}{1-w}$
$\frac{0,5}{\sqrt{P_x}} = 0,140$	0,520	1,085
$\frac{1}{\sqrt{P_x}} = 0,280$	0,843	5,36
$\frac{2}{\sqrt{P_x}} = 0,560$	0,995	213,0

und für die Grenzen von Φ_y

	w	$\frac{w}{1-w}$
$\frac{0,5}{\sqrt{P_y}} = 0,189$	0,520	1,085
$\frac{1}{\sqrt{P_y}} = 0,379$	0,843	5,357
$\frac{2}{\sqrt{P_y}} = 0,758$	0,995	213,0

so dafs man also z. B. nur 1,085 gegen 1 wetten kann, dafs der Fehler von X kleiner als 0,14 ist u. s. w. mit den übrigen Bestimmungen.

Sollten endlich die einzelnen Beobachtungen unter einander von ungleicher Güte seyn, und ist z. B. c der Werth der ersten, c_1 der zweiten, c_2 der dritten Beobachtung u. s. f., so wird man, wie oben in Nr. IV, die gegebenen Bedingungsgleichungen, aufser dem ε, durch die Gröfsen c, c_1, c_2... multipliciren und dann mit ihnen wie zuvor verfahren.

VI. Auflösung der Gleichungen mit drei unbekannten Gröfsen durch die Methode der kleinsten Quadrate.

Nehmen wir nun an, dafs man durch eine Reihe von Beobachtungen *drei* unbekannte Gröfsen x, y und z so bestimmen soll, dafs sie diesen sämmtlichen Beobachtungen am besten entsprechen.

Hier werden also die Bedingungsgleichungen die folgende Form haben:

$$\varepsilon = ax + by + cz - \delta,$$
$$\varepsilon_1 = a_1x + b_1y + c_1z - \delta_1,$$
$$\varepsilon_2 = a_2x + b_2y + c_2z - \delta_2 \text{ u. s. f.}$$

Sucht man daraus wieder diejenigen Gleichungen, welche die Summe der Quadrate der Fehler oder welche die Gröfse

$$\varepsilon^2 + \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + .. = \Sigma\varepsilon^2$$

zu einem Minimum machen oder welche folgenden Ausdrücken entsprechen:

$$\left(\frac{\partial.\Sigma\varepsilon^2}{\partial x}\right) = o; \left(\frac{\partial.\Sigma\varepsilon^2}{\partial y}\right) = o \text{ und } \left(\frac{\partial.\Sigma\varepsilon^2}{\partial z}\right) = o,$$

so erhält man, wie oben in Nr. V, folgende drei Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} 0 &= X.\Sigma a^2 + Y.\Sigma ab + Z.\Sigma ac - \Sigma a\delta \\ 0 &= X.\Sigma ab + Y.\Sigma b^2 + Z.\Sigma bc - \Sigma b\delta \\ 0 &= X.\Sigma ac + Y.\Sigma bc + Z.\Sigma c^2 - \Sigma c\delta \end{aligned}\right\}$$

und die Werthe, die man aus diesen drei Gleichungen für X, Y, Z durch Elimination findet, werden die gesuchten wahrscheinlichsten Werthe der unbekannten Gröfsen x, y, z seyn.

Setzt man dann der Kürze wegen

$$\begin{aligned} k = \Sigma a^2.\Sigma b^2.\Sigma c^2 - \Sigma a^2.(\Sigma bc)^2 &+ 2\Sigma ab.\Sigma ac.\Sigma bc, \\ &- \Sigma b^2.(\Sigma ac)^2 \\ &- \Sigma c^2.(\Sigma ab)^2 \end{aligned}$$

so sind die Gewichte dieser drei Bestimmungen von

$$X \ldots P_x = \frac{N}{2\Sigma\varepsilon^2} \cdot \frac{k}{\Sigma b^2 . \Sigma c^2 - (\Sigma bc)^2}$$

$$Y \ldots P_y = \frac{N}{2\Sigma\varepsilon^2} \cdot \frac{k}{\Sigma a^2 . \Sigma c^2 - (\Sigma ac)^2}$$

$$Z \ldots P_z = \frac{N}{2\Sigma\varepsilon^2} \cdot \frac{k}{\Sigma a^2 . \Sigma b^2 - (\Sigma ab)^2}$$

wo $\varepsilon = aX + bY + cZ - \delta$ u. s. w. ist.

Ist so das Gewicht P bekannt, so hat man für die mittleren zu befürchtenden Fehler

$$\Phi_x = \frac{0{,}28209}{\sqrt{P_x}}$$

$$\Phi_y = \frac{0{,}28209}{\sqrt{P_y}}$$

$$\Phi_z = \frac{0{,}28209}{\sqrt{P_z}}$$

und für die wahrscheinlichsten Fehler

$$F_x = \frac{0{,}47694}{\sqrt{P_x}}$$

$$F_y = \frac{0{,}47694}{\sqrt{P_y}}$$

$$F_z = \frac{0{,}47694}{\sqrt{P_z}}.$$

Für die Genauigkeit dieser drei Resultate X, Y und Z aber ist

$$G_x = \sqrt{\frac{2P_x . \Sigma\varepsilon^2}{N}}$$

$$G_y = \sqrt{\frac{2P_y . \Sigma\varepsilon^2}{N}}$$

$$G_z = \sqrt{\frac{2P_z . \Sigma\varepsilon^2}{N}}$$

und endlich ist der wahrscheinlichste Fehler jeder einzelnen Beobachtung

$$f = 0{,}47694 \sqrt{\frac{2\Sigma\varepsilon^2}{N}}.$$

Sind die einzelnen Beobachtungen unter sich von ungleichem Werthe c, c_1, $c_2 \ldots$, so multiplicirt man die Bedingungsgleichungen durch diese Werthe und verfährt dann damit, wie zuvor.

Nehmen wir als Beispiel folgende vier Bedingungsgleichungen:

$$\begin{aligned}
\varepsilon &= x + y - 2z - 1 && \text{mit dem Werthe} && c = 1\\
\varepsilon_1 &= \tfrac{1}{3}x - y + \tfrac{1}{3}z - 1 && - \quad - && c_1 = 3\\
\varepsilon_2 &= \tfrac{1}{3}x + \tfrac{1}{6}y - \tfrac{1}{2}z - \tfrac{1}{3} && - \quad - && c_2 = 6\\
\varepsilon_3 &= \tfrac{1}{12}x - \tfrac{1}{3}y + \tfrac{1}{12}z - \tfrac{1}{4} && - \quad - && c_3 = 12
\end{aligned}$$

Multiplicirt man jede dieser Gleichungen mit dem ihr entsprechenden Werthe c, so erhält man dafür folgende vier Bedingungsgleichungen:

$$\left.\begin{aligned}
\varepsilon &= x + y - 2z - 1\\
\varepsilon_1 &= x - 3y + z - 3\\
\varepsilon_2 &= 2x + y - 3z - 2\\
\varepsilon_3 &= x - 4y + z - 3
\end{aligned}\right\}$$

Diese letzten Gleichungen geben

$$\begin{aligned}
\Sigma a^2 &= 7; & \Sigma ab &= -\ 4; & \Sigma a\delta &= +\ 11\\
\Sigma b^2 &= 27; & \Sigma ac &= -\ 6; & \Sigma b\delta &= -\ 18\\
\Sigma c^2 &= 15; & \Sigma bc &= -\ 12; & \Sigma c\delta &= -\ 2.
\end{aligned}$$

Wir erhalten demnach für jene drei Gleichungen zwischen X, Y und Z

$$\left.\begin{aligned}
0 &= 7\,X - 4\,Y - 6\,Z - 11\\
0 &= 4\,X - 27\,Y + 12\,Z - 18\\
0 &= 6\,X + 12\,Y - 15\,Z - 2
\end{aligned}\right\}$$

woraus man durch Elimination folgende wahrscheinlichste Werthe oder Gröfsen x, y und z findet:

$$\begin{aligned}
X &= +\ 1{,}9231\\
Y &= -\ 0{,}1538\\
Z &= +\ 0{,}5128.
\end{aligned}$$

Substituirt man diese Werthe in den obigen Ausdrücken für ε, so erhält man

$$\varepsilon = X + Y - 2\,Z - 1 = -\ 0{,}2563$$

und ebenso $\varepsilon_1 = -\ 0{,}1027$; $\varepsilon_2 = 0{,}1540$; $\varepsilon_3 = 0{,}0511$ und daher auch

$$\Sigma\varepsilon^2 = 0{,}1025$$

und $k = 39$, so wie $N = 4$ die Anzahl der Beobachtungen.

Dieses vorausgesetzt erhält man für die Gewichte jener drei Resultate X, Y und Z folgende Ausdrücke:

$$P_x = 2{,}9136; \quad P_y = 11{,}0211; \quad P_z = 4{,}3957.$$

Die mittlern zu befürchtenden Fehler sind

$$\Phi_x = 0{,}1652; \quad \Phi_y = 0{,}0850; \quad \Phi_z = 0{,}1345;$$

die wahrscheinlichsten Fehler aber sind

$$F_x = 0{,}2794;\quad F_y = 0{,}1437;\quad F_z = 0{,}2275$$

und für die Genauigkeit dieser Resultate hat man

$$G_x = 0{,}3865;\quad G_y = 0{,}7518;\quad G_z = 0{,}4748.$$

Endlich ist der wahrscheinlichste Fehler jeder einzelnen Beobachtung

$$f = 0{,}47694 \sqrt{\frac{2\,\Sigma\varepsilon^2}{N}} = 0{,}1080,$$

also auch der wahrscheinlichste Fehler

der Isten Beobachtung $\frac{f}{c} = 0{,}108$

— IIten — $\frac{f}{c_1} = 0{,}036$

— IIIten — $\frac{f}{c_2} = 0{,}018$

— IVten — $\frac{f}{c_2} = 0{,}009.$

Man sieht aus diesen Ausdrücken, daſs von den drei Gröſsen X, Y und Z die erste X am wenigsten genau, Y aber am genauesten bestimmt ist, wie es die Natur der Sache fordert. Auch kann man nach der Tafel II die Zahl 1000 gegen 1 wetten, daſs der Fehler

von X nicht gröſser als $\pm$ 1,36
– Y — — – $\pm$ 0,70
– Z — — – $\pm$ 1,11 ist.

Das Vorhergehende wird in den meisten Fällen, die in der Physik vorkommen, hinreichend erscheinen, um die gewünschten Reductionen der Beobachtungen und ihrer Resultate mit Sicherheit und Bequemlichkeit zugleich auszuführen.

L.

Wanken der Erdaxe.

M. s. darüber den Artikel *Nutation*, sowie den Art. *Vorrücken der Nachtgleichen* in der Abtheilung *Nutation* am Ende dieses Artikels (S. 2162 ff.). *L.*

Wassersäulenmaschine.

Machine à Colonne d'eau.

Eine vollständige Untersuchung dieser Maschine gehört eigentlich in das Gebiet der praktischen Maschinenlehre, und zwar speciell zur hydrodynamischen Abtheilung derselben; weil aber in diesem Werke auch sonstige Maschinen, namentlich in Beziehung auf die ihnen zum Grunde liegenden physikalischen Gesetze, in so weit kurz beschrieben sind, als erfordert wird, um eine allgemeine Kenntnifs ihrer Beschaffenheit und ihrer Leistungen zu erhalten, so möge eine solche kurze Beschreibung auch dieser zu Theil werden. Wem es darum zu thun ist, eine nähere Kenntnifs ihrer einzelnen Theile und des durch sie zu erreichenden Nutzeffectes zu erhalten, der findet dieses in den unten angegebenen gröfseren Werken.

Bei allen hydraulischen Maschinen wird der zu erreichende Effect bedingt durch die Masse des in einer gegebenen Zeit zu benutzenden Wassers und durch die Höhe seines Falles. Ist die Masse des sich bewegenden Wassers grofs, seine Fallhöhe aber klein, so benutzt man es zu unterschlächtigen Mühlrädern, ist dagegen jene klein und diese grofs, zu mittel- oder oberschlächtigen Rädern[1], aber auch diese können eine gewisse Höhe nicht übersteigen, um nicht allzu unbequem zu werden, und wenn daher die Fallhöhe zu grofs ist, etwa 40 Fufs übersteigt, die Wassermasse aber zu klein ist, um für ein Gewerk die erforderliche Kraft zu geben, sokönnte man noch das *Segner'sche Wasserrad*[2] benutzen, dessen Anwendung bei allzugrofser Höhe jedoch gleichfalls grofse, bis zu den unüberwindlichen steigende, Schwierigkeiten darbietet. In solchen Fällen pflegt man das Gefälle zu theilen und zwei oder mehrere Räder so über einander anzulegen, dafs das nächst tiefer liegende durch das von dem höhern abfliefsende Wasser bewegt wird. In den bei weitem meisten Fällen dieser Art ist es aber kaum möglich, die hierdurch erzeugte Kraft zu vereinigen und auf einen Punct zu concentriren; ganz unmöglich wird dieses aber, wenn kleine Giefsbäche mehrere, durch längere und wenig ge-

1 Vergl. Art. *Rad.* Bd. VII. S. 1180.
2 Vergl. ebend. S. 1186.

neigte Flächen unterbrochene Gefälle haben, oder wenn geringhaltige Quellen durch ihren längeren Lauf gänzlich versiegen, und dennoch bedarf man dieser, in grofsen Höhen sich befindender, oft sehr, namentlich um die Grubenwasser zu heben. Eine zweckmäfsige Benutzung derselben in diesen Fällen erhält man durch die *Luftmaschine* oder die *Höll'sche* Maschine[1], doch wendet man diese besonders in den neueren Zeiten seltener an, als die Wassersäulenmaschinen, deren einige mit sehr grofsem Nutzen erbaut worden sind, und bei denen zwar die Reibung einen grofsen Theil der Kraft wegnimmt, wogegen sie aber des so schwierig zu erreichenden luftdichten Schliefsens nicht bedürfen.

Die *Wassersäulenmaschinen* beruhen im Allgemeinen auf dem hydrostatischen Fundamentalgesetze, dafs das Wasser einen Druck ausübt, welcher dem Gewichte eines Wasserprisma's von der gegebenen Fläche und der lothrechten Höhe vom Schwerpuncte dieser Fläche bis zum Wasserspiegel gleich ist. Bei geringer Wassermenge und bedeutender Höhe läfst man daher das Wasser in einer verhältnifsmäfsig engen Röhre herabsinken, führt deren untere Oeffnung in einen weiten Stiefel, in welchem ein Embolus durch diesen Druck bewegt wird, und läfst dann das Wasser nach dieser Wirkung durch einen geöffneten Hahn abfliefsen, woraus der Embolus durch das eigene Gewicht der mit ihm verbundenen Maschinentheile, oder durch die Kraft eines zweiten, mit ihm vereinten, Embolus, oder endlich durch den Wasserdruck gegen seine entgegengesetzte Fläche wieder herabgeht, seine erste Bewegung aber, und auch wohl die letzte, zur Betreibung der verlangten Maschine benutzt wird. Die Bewegung des Kolbens ist entweder eine horizontale, oder bei weitem in den meisten Fällen eine verticale; auch haben die Maschinen entweder nur einen Stiefel und sind einfach wirkend, neuerdings aber wählt man häufiger zwei Stiefel, noch häufiger aber einen doppelt-wirkenden Stiefel, wodurch man zugleich in den Stand gesetzt wird, ein Schwungrad anzubringen, um eine fortwährend ununterbrochene gleichmäfsige Bewegung zu erhalten. Ist der Druck des Wassers zum Heben des Embolus benutzt, so mufs dasselbe abfliefsen, um das unterdefs wieder zufliefsende zu einer neuen Hebung zu benutzen;

1 S. Art. *Pumpe.* Bd. VII. S. 976.

der Wasserzufluſs der Fallröhre muſs daher abgesperrt, das im Stiefel befindliche Wasser aber abgelassen werden, wozu es eines Krahns mit wechselnder Drehung bedarf. Die erforderliche Stellung desselben könnte zwar durch einen Arbeiter geschehn, allein dieses würde nicht bloſs kostspielig und wegen möglicher Vernachlässigung nachtheilig, sondern auch bei vielen Maschinen, die in tiefe Bergwerksschachte herabgehn, wegen des ungesunden Aufenthaltes fast unausführbar seyn, und man brachte daher schon früher Selbststeuerung an; auch würde die jetzt so ungemein fortgeschrittene Mechanik einen Vorwurf darin finden, wenn man ihr nicht zutrauen wollte, hierfür zweckmäſsige Vorrichtungen aufzufinden. Bei den älteren Maschinen brachte man zu diesem Zwecke einen Fallklotz an, welcher von der Maschine gehoben wurde und durch sein Herabfallen das wechselnde Oeffnen und Verschlieſsen der Hahnen bewirkte; weil dieses aber mit bedeutender Erschütterung verbunden war, so wählte man später Fallhämmer, zuletzt aber Kolbensteuerung.

Da hiernach das Princip dieser Maschinen selbst in seinen mannigfaltigen Modificationen sehr einfach ist, die specielle Einrichtung aber durch die jedesmalige Localität bedingt wird, so muſs man zur allgemeinen Kenntniſs des Einzelnen eine specielle Maschine genauer untersuchen, zur vollständigen Einsicht der Sache aber wird erfordert, die bereits hergerichteten, und namentlich den damit erzielten Nutzeffect sich bekannt zu machen, um für einen individuellen Fall das Beste daraus zu entnehmen. Da diese Aufgabe aber zunächst bloſs für Ingenieure und praktische Baumeister gehört, so genügt es hier, die Quellen nachzuweisen und die wesentlichsten Stücke nach einer der besseren Maschinen zu erläutern. Die erste Maschine dieser Art wurde in Frankreich durch Denizard und de la Duaille im Jahre 1731 gebauet. Das Wasser einer kleinen Quelle ging in einer 9 Fuſs langen Fallröhre nieder, trieb hierdurch einen Kolben, und dieser hob ungefähr den zwanzigsten Theil so viel Wasser, als die Quelle selbst enthielt, bis zu 32 Fuſs Höhe[1]. Im Jahre 1748 legte der Ingenieur Winterschmidt eine Wassersäulenmaschine zur Wältigung des Grubenwassers in den Bergwerken des Harzes an, sie leistete aber den er-

1 Recueil des Machines approuv. par l'Acad. R. des Sc. T. V. p. 259. Belidor Archit. hydr. T. II. Liv. IV. §. 1787. p. 54.

zielten Nutzen nicht, und wurde daher bald wieder abgebauet[1]; hiernach kann die von J. K. Höll 1749 im Leopoldi-Schachte zu Schemnitz erbaute, mit einem Klotze zur Selbststeuerung versehene, Maschine als diejenige gelten, welche den späteren zum Muster diente[2], deren mehrere in den Silberbergwerken Ungarns sich befinden[3]. Seitdem bediente man sich derselben auch in den Bleibergwerken Kärnthens, unter denen die zu Kreuth unweit Bleiberg im Jahre 1830 von dem Markscheider J. Florian hergestellte, sehr gelungen zu nennende, von v. Gerstner nach allen ihren Theilen genau beschrieben worden ist. In den sächsischen Bergwerken[4] erbaute der Maschinendirector Mende schon in früheren Zeiten einige solche Maschinen, die aber wieder eingegangen sind, indem sich gegenwärtig nur drei daselbst befinden. Zu den bedeutendsten, gröfsten und merkwürdigsten Maschinen dieser Art gehören die durch v. Reichenbach zur Hebung der Soole zu Illsang u. s. w. in Baiern angelegten. Der gesammte Riesenbau ist angelegt, um die Soole von Reichenbach, wo es an Brennmaterial fehlt, nach Rosenheim zu fördern. Letzterer Ort ist 21 franz. Meilen entfernt; man mufs, um dahin zu gelangen, in mehreren Absätzen 2301 Fufs aufsteigen, und dann 2051 Fufs wieder herabsteigen, wonach der Höhenunterschied 250 Fufs beträgt. Die Hebung geschieht durch 11 Maschinen, von denen 8 Wassersäulenmaschinen, die 3 übrigen Pumpwerke mit Mühlrädern sind. Eine der neuesten Maschinen dieser Art ist ferner die, welche Junker zu Huelgoat im Departement Finisterre nach Reichenbach'schen Principien anlegte[5].

Um eine ungefähre Uebersicht der älteren Maschinen zu erhalten, dürfte wohl die allerälteste, von Denizard und de la Duaille in Frankreich erfundene, nach der Beschreibung von Belidor hier einen Platz verdienen. Ihr einfacher, Fig. 89.

---

1 F. G. Busse Betrachtung der Winterschmidt-Höll'schen Wassersäulenmaschine u. s. w. Freib. 1804.

2 N. Poda kurzgefafste Beschreibung der bei dem Bergbau zu Schemnitz errichteten Maschine. Prag 1771. 8.

3 Delius Anleitung zur Bergbaukunst. Wien 1773. Vergl. Schitko Beiträge zur Bergbaukunde. Wien 1834. Hft. II.

4 Nach Mittheilungen des Maschinendirectors Brendel in v. Gerstner's Handbuch der Mechanik. Th. II. S. 370 ff.

5 Dingler's polytech. Journ. Th. LIX. S. 74.

für die damalige Zeit sehr sinnreicher Bau wird durch die Zeichnung deutlich, aufserdem aber verdient sie noch deswegen besondere Berücksichtigung, weil sie einen Theil des Aufschlagewassers zu einer gröfsern Höhe fördert, als wovon dieses herabfällt, statt dafs alle spätere Wasser, welches sich in gröfserer Tiefe befindet, bis dahin heben, wo das verbrauchte Druckwasser abfliefst. Bei der im verticalen Durchschnitt gezeichneten Maschine ist A das Druckrohr, welches durch den Hahn s abgeschlossen wird, wenn die Maschine stillstehen soll. Um das Spiel der Maschine leichter zu verstehen, wollen wir annehmen, das im Raume C befindliche Ventil gestatte dem in dem Stiefel M befindlichen Druckwasser den Ablauf, während das Wasser durch die Röhre A A′ in die engere a a gelangt. Ist dann der Hahn v′ verschlossen, der untere v aber geöffnet, so wird das in den Stiefel m eindringende Wasser den Embolus b und mittelst der gemeinschaftlichen Stange auch den Embolus B so lange zurückdrücken, bis letzterer die Wandung des Gefäfses C mit seinem unteren Boden berührt, wodurch die Maschine zum Stillstande kommen mufs. Alsbald wird der Hahn v verschlossen, der obere v′ aber und das Ventil im Behälter C, welches dem Wasser den Zutritt in den Stiefel M gestattet, geöffnet; dieses treibt durch seinen stärkeren Druck den Kolben B, so wie den an der gemeinschaftlichen Stange befestigten b zurück, welcher letztere dann das im Stiefel m befindliche Wasser in den Windkessel D prefst, und durch die Röhre *a a* zu gröfserer Höhe hebt, als von welcher das Druckwasser herabfällt.

Zur Kenntnifs der später allgemein eingeführten Maschinen kann die sehr verkleinerte Zeichnung der zu Kreuth befindlichen dienen[1]. Die Fallröhre a a, wovon nur das untere Ende zu sehn ist, kann nach der Localität sowohl lothrecht, als auch geneigt, und nach Umständen selbst verschiedentlich gebogen seyn, denn es kommt dabei blofs die verticale Druckhöhe in Betrachtung, auch dann, wenn erfordert würde, sie bald aufsteigen, bald herabgehn zu lassen, was jedoch in der Regel nicht nöthig, auf jeden Fall unbequem, kraftraubend und kostspielig ist. Sie besteht allezeit aus einzelnen, genau wasserdicht verbundenen Röhrenstücken. Gegenwärtig würde man

Fig. 90.

1 Die Zeichnung findet sich in v. Gerstner's Werke. Taf. 92.

gewifs keine anderen als gufseiserne Röhren in Anwendung bringen, doch sind die meisten der in holzreichen Gegenden vorhandenen am obern Theile von Holz. Ihre Weite richtet sich nach der Wassermasse, die in ihnen herabfliefsen soll, und man wählt sie der Kosten wegen nicht weiter, als hierzu erforderlich ist. Die gufseisernen Röhren der hier gezeichneten Maschine bestehen aus 6 Fufs langen Stücken, deren innerer Durchmesser 3,75 Zoll beträgt, wonach sie bei 0,5 Zoll Dicke der Wandungen 11,04 Quadratzoll Querschnitt haben. Es versteht sich übrigens von selbst, dafs man zur Ersparung der Kosten diese Eisendicke nach unten zunehmend, dem vermehrten Wasserdrucke proportional, wählen könnte. Die lothrechte Höhe dieser 54 Klafter langen Röhre beträgt 43 Klaftern, und sie leitet das Druckwasser mittelst der durch die Scheibe A erzeugten Steuerung abwechselnd in die Stiefel b, b′, deren Kolbenstangen die Scheibe B nach der einen und nach der entgegengesetzten Richtung umdrehen. Die an dieser Scheibe befindlichen Ketten treiben die über den Frictionsrollen *a*, *a*, *a*; *a*′, *a*′, *a*′ laufenden Stangen c c, c′ c′, welche an ihrem unteren Ende die Drehungen der Scheibe C bewirken, die alsdann durch einen ähnlichen Mechanismus die Stangen der beiden Saug- und Druck-Pumpen d und d′ bewegt, welche das Wasser bis zu 72 Klaftern in der Röhre e, e, e hinaufpressen, wo es nebst dem aus b und b nach geleistetem Drucke ablaufenden Wasser durch den Stollen m m seinen Abflufs erhält. Die Kosten dieser Maschine betrugen im Ganzen 8862 Gulden, und sie hebt mit 8 Hüben in einer Minute 5 niederösterreichische Kubikfufs Wasser zu einer senkrechten Höhe von 72 Klaftern, vorausgesetzt, dafs sie stets in guter Ordnung und in gehöriger Schmiere erhalten wird.

Für die Bergwerke zu Kongsberg hat der Director Steenstrup ein Modell einer zu errichtenden Wassersäulenmaschine verfertigt, jedoch soll die neue Construction erst einer näheren Prüfung unterworfen bleiben, ehe sie zur Ausführung gebracht wird[1]. Dafs man die Stiefel, die Kolben und Kolbenstangen gegenwärtig besser zu fabriciren weifs, als ehemals, versteht sich von selbst, und sonach besteht die wesentlichste Verbesserung in den Schieberventilen, die er statt der Hahnen wählt, die

1 Dingler's polytech. Journ. Th. LXXI. S. 184.

schwer zu verfertigen sind und sich schnell abzunutzen pflegen, insbesondere wenn das Wasser, was so oft der Fall ist, feine Kieselerde mit sich führt[1]. Die Schieberventile werden durch eine Stange bewegt, die durch eine Stopfbüchse in einen Kasten geht, aus welchem das Aufschlagewasser zum einen oder andern Stiefel gelangt, und die mit einem gezahnten Sector versehen ist, dessen Zähne in das horizontale Getriebe des aufgeschliffenen Schiebers eingreifen. Solche Ventile sind gewifs sehr zweckmäfsig.
Fig. Im Boden des hinlänglich starken
91. Kastens A münden drei Röhren, α, β und γ; die beiden ersten communiciren mit den beiden Stiefeln, die letztere verstattet dem benutzten Aufschlagwasser den Abflufs. Durch die Verschiebung des Ventils wird abwechselnd die letztere mit einer der beiden ersteren in Verbindung gesetzt, während durch die andere das Druckwasser unter den Embolus gelangt. Diese Verschiebung soll durch eine Vorrichtung geschehen, die mit dem anfangs in Anwendung gebrachten Fallklotze einige Aehnlichkeit hat und die auch bei der Prüfung durch Bobert, Keilhau und Lammers als unzweckmäfsig verworfen wurde. Statt sie hier zu beschreiben, wird genügen, nur zu bemerken, dafs es keine schwierige Aufgabe ist, einen Mechanismus anzuwenden, mittelst dessen jeder der zwei aufsteigenden Kolben am Ende seines Aufsteigens eine schnelle und vollständige Verschiebung des Ventils bewirkt, worauf dann beim erfolgenden Abflufs des Druckwassers dieser sogleich herabsinken, der zweite Embolus aber in Folge des gegen ihn ausgeübten Druckes sofort aufsteigen wird. Dafs der Kolben der vorgeschlagenen Maschine aus einem Cylinder von der Länge des Stiefels besteht und sich in einer Stopfbüchse, wie bei Bramah's Presse, bewegt, ist eine wesentliche, in neueren Zeiten bei den Pumpen gewöhnliche Verbesserung.

Um eine für unseren Zweck genügende Vorstellung von den in neuester Zeit so sehr verbesserten Constructionen der Wassersäulenmaschinen zu erhalten, wird es genügen, eine von den durch v. Reichenbach angelegten kurz zu beschreiben. Wer

1 Das Aufschlagwasser läfst man wohl allgemein, namentlich bei den von v. Reichenbach erbaueten Maschinen, vorher durch mehrere, stets feinere, Siebe fallen; allein die Kieselerde ist mitunter so fein, dafs sie selbst durch Leinen dringt.

sich die Mühe giebt, die sämmtlichen, bei diesem Riesenbaue angebrachten Maschinen genau zu studiren, der gelangt hierdurch zur vollständigsten Kenntniſs alles dessen sowohl im Ganzen als auch in den einzelnen Theilen, was zur Construction derselben erforderlich ist. Bisher in der Hydraulik noch nicht versucht ist unter andern die Leistung einer derselben zu Ilsang, anderthalb Stunden von Berchtesgaden, welche die Soole vermittelst eines Druckwerkes durch einen Stiefel von 11,25 Zoll Durchmesser in 4,5 Zoll weiten Röhren von 3506 Fuſs Länge zu einer senkrechten Höhe von 1218 Fuſs hebt. Das hierzu gebrauchte Druckwasser fällt mit einem Gefälle von 24 Fuſs wieder auf eine in jener Gegend unentbehrliche Mahlmühle zurück. Sie ist eine einfach wirkende, es dürfte aber angemessener seyn, eine doppelt wirkende, wie die zu Nagling, Weiſsbach und Nösselgraben befindlichen sind, hier zu beschreiben[1].

Das Aufschlagwasser oder Druckwasser fällt aus einer Höhe von 140 Fuſs durch die Röhre ab herab. Am Ende b Fig. 92. dieser Röhre befindet sich ein (in der Zeichnung nicht angegebener) Hahn, welcher dazu dient, das Aufschlagwasser abzusperren. So wie die Kolben gezeichnet sind, gelangt das Wasser aus der Röhre b durch die Oeffnung i unter den Embolus fg des Kraftcylinders AB und treibt diesen in die Höhe, während das über demselben befindliche durch die Röhre h entweicht und aus der Oeffnung j in den Kasten 11; 11 abflieſst. Die nach unten verlängerte Stange dieses Embolus hat am unteren Ende den Kolben m der Saug- und Druckpumpe F, welche gleichfalls doppelt wirkend ist. Durch die Bewegung desselben wird die Soole aus der Röhre rr′ aufgesogen, gelangt in den Behälter D, von da in die Kugel u (einen Windkessel), und wird von hier aus in der Röhre yz zu Höhen emporgepreſst, die zu Nagling 370 Fuſs, zu Weiſsbach 125 Fuſs und zu Nösselgraben 400 Fuſs betragen. Hat der Embolus fg seine gröſste Höhe erreicht, so werden die an einer gemeinschaftlichen Stange befestigten Kolben e und d plötzlich

1 Nach v. Langsdorf's Maschinenkunde. Bd. I. S. 746. Von diesem entnommen aus der deutschen Uebersetzung von Villefosse's Werke, welche ich nicht zur Hand habe. Vergl. Dingler's polytech. Journ. Th. IX. S. 145.

herabgedrückt, so dafs d unter die Röhre i und e dagegen unter die Röhre h zu stehen kommt. Hiernach fliefst das unter dem Embolus fg befindliche Wasser durch die Röhre i und die Oeffnung j in den Kasten 11; 11, das Druckwasser aus der Röhre b gelangt dagegen durch die Röhre c über dem Embolus e weg durch die Röhre h in den oberen Theil des Druckcylinders A, und drückt den Embolus fg mit gleicher Kraft, als er vorher gehoben wurde, wieder herab. Gleichzeitig mit diesem Embolus geht auch der Kolben m der Saug- und Druckpumpe F herab, saugt die Soole aus dem Kasten D ein, wobei das Ventil t sich schliefst, das Ventil x aber sich öffnet, und drückt die unter ihm befindliche Soole durch die Oeffnung u in einen gleichen Kasten, als D, welcher hinter diesem liegt und dessen Einflufsröhre bei r, dessen Ausflufsröhre aber bei v mit den gezeichneten vereint sind. Dieses Wechselspiel, welches sich ohne Unterbrechung wiederholt, wird durch eine kleine Wassersäulenmaschine bewirkt, die sich in dem Cylinder E befindet, und deren Kolben k an der nämlichen Stange festsitzt, an welcher sich die beiden Kolben e und d befinden. Das Wasser wird dieser kleinen Maschine durch die Röhre 9 zugeführt, und tritt durch die Röhre 7 oder 8 unter oder über den Kolben k, je nach der Drehung des Hahns 6, fliefst aber durch eben diese Röhren und die Röhre 10 in den Kasten 11 ab. Die Steuerung des Hahns 6 wird auf verschiedene Weise bewirkt, bei der hier gezeichneten geschieht sie auf folgende Weise. In dem gewählten Momente des Aufsteigens des Kolbens fg hat der Hahn 6 die durch die Figur P dargestellte
Fig. 93. Lage, indem das Wasser aus der Röhre 9 durch den Hahn und die Röhre 8 unter den Kolben k gelangt ist und diesen in die Höhe gehoben hat, das Wasser über demselben aber durch die Röhre 7 und den Hahn 6 in die Röhre 10 getreten, und aus dieser in den Kasten 11 abgeflossen ist. Hierbei bezeichnet die punctirte Linie 5 die Stellung des Hahnschlüssels. Ist der Kolben gf im Begriff, seinen höchsten Stand zu erreichen, so drückt die an seiner Stange befindliche Scheibe 1 gegen den schiefen Arm 2 an der verticalen Stange 3 und drehet diese letztere um ihre verticale Axe, und damit zugleich den Arm 4, dessen äufserstes Ende den Schlüssel 5 in einer Gabel gefafst hält, in einer horizontalen Ebene so weit herum, bis er diejenige Stellung annimmt, die in der Figur Q ausgedrückt ist.

Das Wasser dringt durch die Röhre 9 und den Hahn in die Röhre 7, gelangt hierdurch über den Kolben k und drückt ihn herab; das unter ihm befindliche Wasser aber fliefst durch das Rohr 8, den Hahn und die Röhre 10 in den Kasten 11. Geht der Kolben fg herab, so erreicht am Ende des Niederganges die Scheibe 1 den Arm 12, und der Hahn erhält durch eine entgegengesetzte Drehung die in P angegebene Lage wieder.

Die wesentlichste Verbesserung der neuerdings errichteten Wassersäulenmaschinen beruhet auf der Anbringung des Windkessels, welcher verhütet, dafs die Säule der zu hebenden Flüssigkeit ganz zum Stillstande kommt und bei dem Wechsel des Pumpenganges aus der Ruhe wieder in Bewegung gesetzt werden mufs. Aus gleichem Grunde haben die doppelt wirkenden Maschinen einen entschiedenen Vorzug, denn bei den einfach wirkenden kommt das Wasser der Drucksäule während des Rückganges des Embolus gleichfalls zum Stillstande, die Hemmung seiner Bewegung, hauptsächlich wenn diese in nicht eben weiten Röhren etwas schnell ist, wirkt nachtheilig auf die Maschinentheile, und ist die Druckwassersäule einmal zum Stillstande gekommen, so dauert es bei bedeutenden Höhen lange, bis die unten beginnende Bewegung sich bis zum Wasserspiegel fortpflanzt. Will man keine doppeltwirkende wählen, und scheinen statt der Kolben die in Stopfbüchsen sich bewegenden Cylinder vorzüglicher, so ist es räthlich, zwei einfachwirkende Cylinder so zu verbinden, dafs das Aufsteigen und Niedergehen beider Kolben wechselt. Weil das Wasser bei seiner Bewegung in Röhren um so viel mehr an Geschwindigkeit verliert, je länger die Röhren und je mehr sie gekrümmt sind[1], so steigt die Wirksamkeit der Wassersäulenmaschinen in dem Verhältnisse, als die Zuleitungsröhre sich der geraden, lothrechten Linie nähert. Sind Biegungen und geneigte Richtungen unvermeidlich, so dürfen jene nicht einen spitzen, überhaupt keinen scharfen Winkel bilden; besser ist es dagegen, allmälige Krümmungen zu wählen. Beiden Hindernissen endlich wird durch gröfsere Weite der Röhren am besten begegnet. Sind alle Maschinentheile gut eingerichtet, so kann man 0,4 bis 0,8 der theoretisch bestimmten Druckkraft erreichen[2]. *M.*

1 Vergl. Art. *Röhre*. Bd. VII. S. 1413.

2 Die vorzüglicheren Werke, worin man mehr oder minder vollständige Belehrung über den Bau dieser Maschinen nebst den erläu-

ternden Zeichnungen findet, so wie auch Berechnungen des Nutzeffectes, den sie leisten, sind folgende. Handbuch der Mechanik von J. F. Ritter v. Gerstner. Wien 1834. 4. Bd. III. S. 355. Alle einzelne Theile der älteren Wassersäulenmaschinen sind in genügend grofsem Mafsstabe auf den zugehörigen Tafeln gezeichnet, namentlich so, wie sie sich zu Kreuth an der dortigen Maschine befinden; der Text enthält eine genaue Beschreibung derselben und allgemeine Formeln zur Berechnung des Nutzeffectes, zugleich mit Anwendung auf die durch Erfahrung gefundenen Resultate. Die Hauptschwierigkeit dieser Berechnungen liegt in der nur schwer scharf zu bestimmenden Reibung. Lehrbuch der Hydraulik, mit beständiger Rücksicht auf die Erfahrung. Von C. Ch. Langsdorf. Altenb. 1794. 4. S. 362. Man findet eine detaillirte, durch Figuren erläuterte, Beschreibung der Höll'schen Maschine zu Schemnitz, und allgemeine Formeln zur Berechnung des Nutzeffectes. Einen Auszug aus dieser Beschreibung und eine Copie der dort gezeichneten Maschine giebt Poppe in: Encyklopädie des gesammten Maschinenwesens. Leipz. 1810. Th. V. S. 394. Sehr ausführlich und gründlich ist der Gegenstand behandelt in: Ausführliches System der Maschinenkunde mit speciellen Anwendungen bei mannigfaltigen Gegenständen der Industrie. Von K. C. v. Langsdorf. Heidelb. 1826. 4. Bd. I. S. 729. Hierin findet man zuerst allgemeine Betrachtungen mit Beziehung auf das Lehrbuch der Hydraulik, dann eine ausführliche, aus dem sogleich zu nennenden Werke entnommene, Beschreibung der merkwürdigen Anlagen, die zu Reichenhall, Berchtesgaden u. s. w. gröfstentheils durch v. Reichenbach ausgeführt worden sind. Da die Leitung der Soole über Berge und Thäler geführt ist, so läfst sich hiernach ihre unglaubliche Länge schon im voraus ahnen, wie nicht minder die Menge der Wasserkünste, die zu ihrer Hebung erforderlich sind. Von der Grube oder den Reservoiren bei Berchtesgaden bis nach Reichenhall beträgt die Länge der Leitung 97281 baiersche Fufs, und die Soole wird auf dieser Strecke in drei Absätzen zuerst 50 Fufs, dann 311 Fufs und endlich 1218 Fufs senkrechter Höhe gehoben. Die zweite Strecke von Reichenhall bis Hammer hat eine Länge von 72618 Fufs, und es finden sich auf derselben 6 Hebungen, die erste von 44 Fufs, die zweite von 190, die dritte von 220, die vierte von 400, die fünfte von 125 und die sechste von 370 Fufs. Von hier aus geht eine, schon früher angelegte, Leitung zur Saline bei Traunstein, die neuere aber, von Hammer bis Rosenheim, hat eine Länge von 200190 Fufs, und die Soole wird auf dieser letzten Strecke fünfmal, zu Siegsdorf 200 Fufs, zu Klaushäusel 175 Fufs, zu Bergham 200 Fufs, zu Mühlthal 180 Fufs und zu Rosenheim 44 Fufs gehoben. Die ganze Länge der Leitung beträgt sonach 370089 baiersche Fufs, der Höhen-Unterschied vom Anfangspuncte zu Berchtesgaden bis Rosenheim ist 282 Fufs, weil aber abwechselnd Berge und Thäler übersetzt werden müssen, so beträgt die Gesammtsumme der Hebungen, die durch die verschiedenen Maschinen erzielt wird, 3727 Fufs. Langsdorf giebt aufserdem eine kurze, durch Figuren erläuterte, Beschreibung der Wassersäulenmaschine zu Bleiberg in Kärnthen, und endlich

praktische Bemerkungen, nebst Formeln zur Berechnung des Nutzeffectes. Zu den gehaltreichsten Werken über diesen Gegenstand gehört ferner: De la Richesse minérale u. s. w. par A. M. Héron de Villefosse. Par. 1819. 4. T. III. p. 115. Hier findet man aufser allgemeinen Bemerkungen die durch schöne Zeichnungen erläuterten Beschreibungen der Wassersäulenmaschine auf dem Harze, der von Baldauf für das Bergwerk Beschertglück im sächsischen Erzgebirge construirten, so wie auch der eben erwähnten zu Berchtesgaden und zu Bleiberg in Kärnthen. Bei weitem nicht erschöpfend über diese Maschinen handelt Borgnis in: Traité complet de mécanique, und zwar in: Théorie de la mécanique usuelle. Par 1821. 4. p. 172, wo man blofs einige allgemeine Bemerkungen findet, und in: Machines hydrauliques. Par. 1819. 4. p. 84, wo die Maschinen von Denizart und de la Duaille, nach Belidor's Angaben, und die von Höll beschrieben und durch keineswegs genügende Figuren erläutert werden. Nur dürftig ist ferner die Aufgabe behandelt in: Traité de Mécanique industrielle cet. Par M. Christian. Par. 1822. 4. T. I. p. 392. Durch zwei Figuren werden eine einfache und eine doppeltwirkende Maschine in ihren Haupttheilen nach der neuesten Construction erläutert, aus denen man einen allgemeinen Begriff ihres Baues entnehmen kann, indem sie eine deutlichere Vorstellung geben, als man aus der allzukurzen Beschreibung zu erhalten vermag. Reichhaltiger ist Hachette Traité élémentaire des Machines. 4me édit. Par. 1828. 4. Dieser beschreibt p. 165 u. 323 die zuerst bekannt gewordene Maschine nach Belidor Architectura hydraulica. Par. 1736 u. 1737. IV T. 4. und erläutert ihren Bau durch zwei instructive Figuren, woraus man ersieht, dafs hierbei schon der Windkessel angebracht ist. Es war daher Unkunde der Sache, dafs dieser bei den späteren Maschinen weggelassen wurde. Aufserdem findet man eine sehr kurze Beschreibung der durch v. Reichenbach in Baiern angelegten und der von Trevithick (in Nicholson's Journ. T. I. in 8. 1802) in Vorschlag gebrachten Maschinen, beide durch hinlänglich instructive Figuren erläutert, ohne jedoch die Haupttheile einzeln darzustellen. Guenyveau Essay sur la science des Machines steht mir nicht zu Gebote. Ueber die von Junker zu Huelgot im Dp. Finisterre angelegte Wassersäulenmaschine und überhaupt über den Bau und die Wirkungen dieser Maschinen findet sich viel Belehrendes in Ann. des Mines 1835. T. VIII. Livrais. IV. p. 95. Liv. V. p. 247. Liv. VI. p. 369. Die älteren Werke, worin über diese Maschinen gehandelt wird, sind für den Zweck einer gründlichen Belehrung wegen der zahlreichen und höchst wichtigen neueren Verbesserungen ganz ungenügend. Dahin gehört: Calvör Beschreibung des Maschinenwesens auf dem Oberharze. Braunschw. 1763. Fol. Th. I. S. 163 u. 176. Delius Anleitung zu der Bergbaukunst. Wien 1773. 4. S. 379. F. L. Cancrin's Erste Gründe der Berg- und Salzwerks-Kunde. Frankf. 1779. 8. Th. VII. S. 176. J. J. Ferber's physicalisch-metallurgische Abhandlungen über die Gebirge und Bergwerke in Ungarn. Berl. u. Stett. 1780. 8. S. 68. Büsch Mathematik zum Nutzen und Vergnügen u. s. w. Hamb. 1799. Th. II. S. 505. u. a. m.

Wasserstoff.

Hydrogenium; Hydrogène; *Hydrogen*.

Ein nicht metallisches, für sich bloſs in Gasform bekanntes Element, welches vorzüglich im Wasser und in organischen Verbindungen vorkommt. Man stellt es gewöhnlich dar durch Auflösen von Zink in verdünnter Schwefelsäure in einem Gasentwickelungsapparate, wobei der Sauerstoff des Wassers an das Zink tritt und der Wasserstoff sich entwickelt.

Das specifische Gewicht dieses Gases beträgt nur 0,0688, es ist daher von allen wägbaren Stoffen der leichteste; es ist farblos, im reinen Zustande geruchlos und beim Einathmen bloſs von negativ schädlicher Wirkung.

Der Wasserstoff bildet mit dem Sauerstoff das Wasser und das Wasserstoffhyperoxyd.

Wasser (1 Wasserstoff auf 8 Sauerstoff). Das Gemenge von 2 Maſsen Wasserstoffgas und 1 Maſs Sauerstoffgas, die *Knallluft*, verdichtet sich, wenn die Verbindung der beiden Stoffe durch höhere Temperatur, Elektricität, Platin u. s. w., eingeleitet wird, unter bedeutender Wärmeentwickelung vollständig zu Wasser. Die rasche Verbindung erfolgt in einem nicht völlig verschlossenen Raume unter lebhafter Explosion, weil der sich bildende Wasserdampf, durch die entwickelte Wärme in den Zustand der höchsten Weiſsgluth versetzt, eine viel gröſsere Elasticität besitzt, als die Knallluft, aus der er entstand[1]. Wegen der starken Feuerentwickelung, wovon die Verbindung des Sauerstoffs mit dem Wasserstoff begleitet ist, dient die Knallluft zur Erzeugung eines der höchsten Hitzgrad im *Knallgasgebläse*[2].

Man befreiet das Wasser von wenigen flüchtigen Unreinigkeiten durch Destillation in metallischen Gefäſsen, *destillirtes Wasser*, und von absorbirter Luft durch länger fortgesetztes Kochen, *ausgekochtes Wasser*. Von seinen Eigenschaften im starren, tropfbaren und elastischen Zustande war schon an andern Orten die Rede.

Das Wasser wird durch den elektrischen Strom in seine

---

1 S. Art. *Pistole, elektrische.* Bd. VII. S. 573.

2 S. Art. *Gebläse.* Bd. IV. S. 1158.

beiden gasigen Bestandtheile zersetzt, ferner durch viele Metalle und Kohlenstoff, theils bei gewöhnlicher Temperatur, theils in der Glühhitze, in gebundenen Sauerstoff und in Wasserstoffgas, durch Chlor im Licht in gebundenen Wasserstoff und in Sauerstoffgas; bei der Zersetzung durch Phosphorcalcium und einige andere Stoffe treten beide Bestandtheile des Wassers in neue Verbindungen.

Das Wasser bildet theils innigere, proportionirte Verbindungen, theils losere, mit, nach veränderlichem Verhältnisse, überwiegendem Wasser.

Zu ersteren gehören die *Hydrate*, worunter vorzüglich Verbindungen von 1 Atom Säure oder Salzbasis mit 1 Atom Wasser verstanden werden, z. B. Vitriolöl, 1 Atom Schwefelsäure auf 1 Atom Wasser haltend, Aetzstein, aus 1 Atom Kali und 1 Atom Wasser bestehend. In den Hydraten der Säuren vertritt das Wasser die Stelle einer Basis, in den Hydraten der Basen die einer Säure. Manche Hydrate verlieren erst in der Glühhitze ihr Wasser, einige bei keiner Temperatur, zum Theil, weil sie bei zu hoher unzersetzt verdampfen, wie die zwei genannten. Man hat auch zwei Hydrate von einfachen Stoffen, das Brom- und das Chlorhydrat, die aber 10 Atome Wasser in einer loseren Verbindung enthalten.

Weniger innig, aber noch proportionirt, sind die Verbindungen, in welchen das Wasser als *Krystallwasser* oder *Krystalleis* enthalten ist. Sie kommen vorzüglich bei Säuren, Basen, Salzen und organischen Verbindungen vor. Solche Stoffe schiefsen häufig aus einer wässerigen Lösung in Verbindung mit einer bestimmten, je nach der Natur der Stoffe von 1 bis 24 Atomen variirenden Menge Wasser an. So giebt 1 Atom Schwefelsäure mit 2 Atomen Wasser grofse Krystalle, desgleichen 1 Atom Kali mit 5 Atomen Wasser. Beim Erhitzen geht das loser gebundene Krystallwasser hinweg, bei der Schwefelsäure 1 Atom, bei dem Kali 4 Atome betragend, und das inniger gebundene 1 Atom Hydratwasser bleibt. Manche Salze krystallisiren je nach der Temperatur bald ohne, bald mit Wasser, und im letzten Falle oft mit verschiedenen Mengen, z. B. Glaubersalz bei 100° ohne Krystallwasser, bei 12° mit 8, bei niedrigerer Temperatur mit 10 Atomen, aber in jedem dieser drei Zustände besitzt es eine verschiedene Krystallform. Manche Salze verlieren ihr Krystallwasser schon beim Aussetzen an die

Luft, um so schneller, je trockener und wärmer sie ist, und werden dadurch undurchsichtig und zerreiblich, *verwitternde* Salze. Beim Erhitzen verlieren alle Krystalle ihr Krystallwasser, wobei sie, wenn das Wasser mehr beträgt, oft in den *wässerigen Flufs* kommen, indem das erhitzte Wasser mit dem Salze eine Lösung bildet. Das nach dem Entweichen des Wassers bleibende feste Salz kann dann in der Glühhitze in den feurigen Flufs kommen. Der Gyps verliert seine 2 Atome Krystallwasser noch weit unter der Glühhitze und wird undurchsichtig und zerreiblich. Hierauf gepulvert und mit Wasser gemengt bildet er zuerst ein breiförmiges Gemenge von entwässertem Gyps und Wasser; aber allmälig wird das Wasser wieder als Krystallwasser aufgenommen, womit Erstarren der Masse unter Ausdehnung erfolgt. Hierauf beruht die Anwendung des gebrannten Gypses zum Abformen u. s. w.

Zu den loseren Verbindungen des Wassers gehören die, welche es mit gasförmigen Stoffen eingeht[1], und die Auflösungen verschiedener starrer oder tropfbarer Säuren, Salzbasen, Salze, organischer Verbindungen u. s. w. im Wasser. Stoffe, welche das Wasser aus der Luft aufnehmen, um eine wässerige Lösung zu bilden, heifsen *zerfliefsende Stoffe.*

Von den meisten dieser Stoffe löst das Wasser um so mehr, je höher die Temperatur ist. Die Ausnahmen von dieser Regel sind früher beleuchtet worden[2]. Bei einigen Salzen nimmt die Löslichkeit mit steigender Temperatur in einem einfachen Verhältnisse zu. So lösen nach Gay-Lussac 100 Theile Wasser bei 0° C. 29,25 Theile Chlorcalium, und für jeden Grad Temperaturerhöhung 0,2738 Theil weiter. Bei andern Salzen, wie bei Salpeter, steigt die Löslichkeit mit der Temperatur in einem viel stärkeren Verhältnisse.

Wasserstoffhyperoxyd (1 Wasserstoff auf 16 Sauerstoff). Die Darstellung dieses, von Thénard entdeckten Körpers beruht im Allgemeinen darauf, dafs man Baryumhyperoxyd in wässeriger Salzsäure löst, wobei sich salzsaurer Baryt bildet, während das zweite Atom Sauerstoff des Baryumhyperoxyds an einen Theil des mit der Salzsäure verbundenen Wassers tritt und diesen in Wasserstoffhyperoxyd verwandelt. Doch ist die

---

1 S. Art. *Absorption.* Bd. I. S. 41.

2 S. Art. *Verwandtschaft.* Bd. IX. S. 1983.

Darstellung desselben in reiner Gestalt sehr schwierig und umständlich. Es ist eine wasserhelle dünne Flüssigkeit von 1,452 specifischem Gewicht, geruchlos, von herbem, bitterm Geschmack, die Zunge weiſs machend, und auf die Haut gebracht die Oberhaut weiſs machend und Jucken erregend. Diese Verbindung hält das zweite Atom Sauerstoff äuſserst lose gebunden und entwickelt dasselbe bei verschiedenen Veranlassungen in Gasgestalt unter einem bis zur Explosion sich steigernden Aufbrausen und unter starker Wärme- und selbst oft Lichtentwickelung[1]. An schweflige Säure tritt sie den Sauerstoff ruhig ab, dieselbe in Schwefelsäure verwandelnd.

Die übrigen Verbindungen des Wasserstoffs sind:

1) Die Wasserstoffsäuren, welche in der Regel 1 Atom Wasserstoff auf 1 Atom Radical, wie Hydrothion-, Hydroselen-, Hydriod- und Hydrochlorsäure, selten auch mehrere Atome Radical enthalten, wie hydrothionige und hydriodige Säure. 2) Das Ammoniak. 3) Neutrale, brennbare Gase, wie ölerzeugendes Gas, Kohlenwasserstoffgas, Phosphorwasserstoffgas, Arsenikwasserstoffgas, Antimonwasserstoffgas. 4) Starre Verbindungen, wie Wasserstoffarsenik, Wasserstoffkalium. 5) Organische Verbindungen. *G.*

Wasserwaage.

Libelle; *Libella, Libra aquaria;* Niveau; *Spirit level.*

Dieses sehr gebräuchliche Instrument dient dazu, eine genau horizontale Ebene zu erhalten. Man erreicht den nämlichen Zweck, aber weit minder genau, durch die sogenannte *Bleiwaage, Setzwaage, Schrotwaage,* deren sich für gröbere Messungen die Maurer beim Bauen, die Schreiner beim Legen der Fuſsböden und sonstige Handwerker bedienen, inzwischen sind diese Apparate so gemein und so bekannt, daſs es nicht nöthig schien, ihnen eigene Artikel zu widmen. Die gewöhnlichen bestehn aus einem dreieckigen Brete oder einem aus drei Leisten zusammengesetzten gleichschenkeligen Dreieck, an des-

---

1 S. Art. *Verwandtschaft.* Bd. IX. S. 1985 u. 2011.

sen oberer Spitze ein Senkel mit einer Bleikugel herabhängt, die in einer Vertiefung in der Mitte derjenigen Seite einspielt, welche dazu bestimmt ist, auf die zu prüfende Fläche gesetzt zu werden. Auf die Mitte dieser Seite ist eine Linie gezogen, welche mit jeder Hälfte dieser Seite einen rechten Winkel bildet, und der im obern Ende dieser Linie befestigte Faden des Senkels muſs daher diese Linie decken, wenn die untere Seite des Dreiecks, auf welcher die Linie lothrecht steht, sich in einer horizontalen Ebene befindet. Solche Waagen hielt Leupold[1] für der Mühe werth zu beschreiben, und man bediente sich ihrer auch zum Nivelliren, doch verfertigte man sie zu diesem Zwecke auch von Metall und feiner gearbeitet. Picard[2] versah sie mit Dioptern, um damit zu nivelliren, oder man brachte unter ihnen ein Fernrohr mit einem Fadenkreuze an, lieſs auch wohl die Spitze des Senkels auf einem Gradbogen spielen, um die mit der horizontalen Linie gebildeten Winkel zu messen, sonstiger Verbesserungen nicht zu gedenken[3]. Eine andere Art von Nivellirwaagen sind die Hängewaagen, welche aufgehangen sich durch ihr eigenes Gewicht so stellen, daſs die Visirlinie der Diopter oder die Axe des Fernrohrs in eine horizontale Linie zu liegen kommt.

Unter die älteren Apparate dieser Art gehören auch die sogenannten *Canalwaagen*, eine blecherne Röhre, an jedem Ende mit einer vertical aufstehenden Fassung, in welche eine etliche Zoll hohe Glasröhre gekittet ist. Sie gehören dem Wesen nach zu den communicirenden Röhren, in deren Schenkeln bekanntlich jede Flüssigkeit gleich hoch steht, und demnach müssen die Enden der Wassercylinder in den beiden Glasröhren in einer horizontalen Ebene liegen, über welche man hin visirt. Groſse Genauigkeit kann dieses aber nicht geben, denn theils ist die Capillaranziehung in den Glasröhren, auch wenn sie hinlänglich weit sind, wegen unvermeidlichen Schmuzes und

---

1 Theatr. Statici universalis P. IV. seu Theatr. horizontostaticum. Leipz. 1726. fol.

2 Traité du Nivellement. Par. 1684. u. 1728. 12. Uebers. von Passavant. Berlin 1749. 8. Mit neuen Beiträgen von Lambert. 1770. 8.

3 Vergl. Lefebure Nouveau Traité du nivellement. Potsdam 1752. 8. Böhm Gründliche Anleitung zur Meſskunst auf dem Felde. Frankf. a. M. 1759. 2te Aufl. 1779.

Staubes nicht absolut gleich, theils ist es schwer, die Tangente der beiden Enden der Wassercylinder in den runden Glasröhren scharf zu treffen, was vermuthlich leichter seyn würde, wenn die Flüssigkeit bis zur Undurchsichtigkeit gefärbt wäre, nicht zu gedenken, daſs die Wandungen des Glases bei so leicht möglicher ungleicher Dicke den Lichtstrahl brechen. Man kam daher schon vor langer Zeit auf die Idee, die Dioptern auf dem Wasser schwimmen zu lassen, welches namentlich DE LA HIRE[1] in Vorschlag brachte; dem Gebrauch solcher Apparate steht aber die groſse Beweglichkeit des Wassers, und ihrer Genauigkeit der Umstand entgegen, daſs sich an die Schwimmer leicht Staub und Schmuz, oder auch Luftblasen ansetzen, die das Einsinken derselben bedingen. Weit vorzüglicher ist daher die von KEITH[2] in Vorschlag gebrachte *Quecksilberwaage* (*Mercurial Level*), deren Bau auſserdem sinnreich von ihm angegeben wurde. Sie besteht aus einem 12 bis 18 Zoll langen, 2 bis 3 Zoll breiten Kästchen aus hartem Holze. An beiden Enden befinden sich viereckige Vertiefungen, die durch einen engen Canal dicht über dem Boden des Kästchens mit einander communiciren und für gewöhnlich oben durch genau passende Deckel verschlossen sind. Gieſst man in eine der Vertiefungen Quecksilber, so steht dieses in beiden gleich hoch und die auf ihm schwimmenden Dioptern geben die horizontale Linie. Diese Dioptern sind von Messing, und jede ist auf einem hölzernen oder elfenbeinernen Würfel befestigt, welcher in die beiden gleichen Vertiefungen so genau paſst, daſs er bloſs in verticaler Richtung aufsteigt oder herabsinkt. Hölzerne Würfel sind der Ausdehnung durch Feuchtigkeit ausgesetzt, und man wählt daher meistens elfenbeinerne; Glas würde sich noch besser dazu eignen. In der Mitte des Kästchens oder vielmehr des übrigens massiven Klotzes ist ein durch einen Deckel verschlossener Behälter, um beim Transporte die Dioptern und das Gefäſs mit Quecksilber aufzunehmen. Bei dem groſsen specifischen Gewichte des Quecksilbers könnten die Würfel auch ein Fernrohr mit Kreuzfaden tragen, und hierdurch würde der

1 Mém. de l'Acad. des Sc. 1704. Solche Nivellirinstrumente findet man in PICARD's Werke, in LEUPOLD Theat. horiz. u. a. a. O.

2 Edinb. Philos. Trans. 1790. T. II. Gotha'sches Magaz. Th. VII. St. 4. S. 104.

Apparat eine noch gröfsere Brauchbarkeit erhalten. Zur Controle kann man die Schwimmer mit den Diopteru verwechseln.

Die jetzt fafst ausschliefslich gebräuchlichen Wasserwaagen sind mit Wasser oder vielmehr allezeit, zur Verhütung des Gefrierens, mit Alkohol gefüllte Apparate, welche auf dem Naturgesetze beruhn, dafs die Oberfläche jeder Flüssigkeit in beliebigen Gefäfsen eine horizontale Ebene bildet. Wenn also der Alkohol durch die Wandungen des Gefäfses in Folge der Adhäsion etwas in die Höhe gehoben wird, so bleibt in der Mitte eine geringe Vertiefung, und nach der Bedeckung der Oberfläche eine gröfsere oder geringere Luftblase, und man erhält diejenigen Apparate, die im Deutschen, wiewohl selten, *Wasserwaagen mit Luftblase*, im Französischen *Niveau à bulle d'air* genannt werden. Da die Form des Gefäfses willkürlich ist, so könnte es hiernach sehr verschiedene Arten geben, man hat deren aber nur zwei, *Dosenlibellen* und *Röhrenlibellen.* Die Dosenlibellen bestehn aus einer messingnen Dose von 2 bis 4 Zoll Durchmesser und 0,5 bis 1 Zoll Höhe. Ihre Oberfläche ist mit einer fest eingekitteten oder aufgeschliffenen, kurz wasserdicht schliefsenden Scheibe von Spiegelglas bedeckt, die in ihrer Mitte mit einem Pünctchen und mit einem oder zwei um dieses gezogenen Kreisen von 2 bis etwa 12 Lin. Durchmesser versehn ist, um schärfer wahrzunehmen, ob die Luftblase sich genau unter der Mitte der Glasscheibe befindet. Im Boden der Dose ist in der Mitte eine durch eine Schraube verschlossene Oeffnung, durch welche man den inneren Raum der Dose mit Alkohol füllt, bis nur noch ein kleiner Raum leer bleibt und nach dem Umkehren der Dose unter der Glasscheibe eine Luftblase bildet. Wenn man nun annimmt, dafs der Rand des nach der Mitte zu vertieften Bodens der Dose mit der Glasscheibe genau parallel ist, so mufs die Luftblase gerade in der Mitte unter der etwas weniges convexen Glasscheibe zum Stillstande kommen, sobald die Dose auf einer genau horizontalen Ebene steht. Dieser Parallelismus wird durch geübte Künstler hergestellt, und man kann daher die Ebenen, auf welche man diese Dosen setzt, dadurch horizontal stellen, dafs man sie so lange richtet, bis sich die Luftblase genau in der Mitte ruhig einstellt. Die Dosenlibellen haben den grofsen Vorzug der Bequemlichkeit; da aber die Empfindlichkeit der Libellen überhaupt der Länge ihrer Durchmesser proportional zunimmt,

so können diese auf keine hohe Empfindlichkeit Anspruch machen.

Um diese zu erhalten, wählt man die *Röhrenlibellen*, die sich von den gröberen bis zu den empfindlichsten in vielen Abstufungen herstellen lassen. Die gewöhnlichen bestehn aus mindestens 3 oder 5 bis 8 Zoll langen und 2 bis 8 Lin. weiten Glasröhren, die mit Alkohol bis auf eine kleine zurückbleibende Luftblase nachgefüllt und an beiden Enden zugeblasen werden. Dieses Zublasen hat den Vortheil, dafs kein Alkohol entweicht und die Luftblase daher ihre anfängliche Gröfse stets beibehält, aufser sofern diese durch die Temperatur und die hieraus folgende Ausdehnung des Weingeistes bedingt wird; allein bei 12. bis 14 und sogar 16 Lin. weiten Röhren hat dieses Zublasen grofse Schwierigkeiten. Will man bei den bessern Röhrenlibellen die Empfindlichkeit vergröfsern, so geschieht dieses durch vermehrte Beweglichkeit des Weingeistes und durch Verlängerung der Röhren. Die Beweglichkeit wird vermehrt, wenn man die Röhren inwendig ausschleift, ohne sie nachher wieder fein zu poliren; der Alkohol legt sich dann leichter an die Wandungen an, und die Blase wird dadurch beweglicher. Lassen sich die weiten Röhren, wenn sie noch obendrein von dickem Glase sind, nicht wohl zublasen, so schleift man ihre Oeffnungen an beiden Enden stark konisch, schleift eine genau hineinpassende konische Spiegelglasscheibe, trägt auf den Rand einen schnell trocknenden Kitt aus Leinölfirnifs und Silberglätte, und verschliefst auf diese Weise die eine Oeffnung, füllt die Röhre mit Alkohol, zündet diesen an, um in der Libelle ein Vacuum zu erhalten, und wenn der Alkohol so weit verzehrt ist, dafs nach der Abkühlung nur noch eine gehörig grofse Luftblase zurückbleiben würde, so drückt man die vorher mit Kitt versehene Scheibe hinein, die dann nach dem Erkalten noch obendrein durch den äufseren Luftdruck festgehalten wird. Nicht selten entweicht aber dennoch allmälig etwas Alkohol, und es erfordert dann grofse Vorsicht, das eine Ende zu öffnen, etwas Alkohol nachzufüllen, und die Röhre auf die angegebene Weise wieder zu verschliefsen. Solche gröfsere Röhren werden allezeit inwendig ausgeschliffen.

Nach der Verfertigung der Röhren, die man auch für sich allein *Libellen* nennt, werden sie gefafst, das heifst, man steckt

sie in messingne, an beiden Enden mit einem Deckel verschlossene Röhren, die in der Mitte zu ungefähr zwei Dritteln ihrer ganzen Länge bis etwa zu einem Fünftel bis einem Drittel ihrer Dicke so weggeschnitten sind, daſs man das Spiel der Luftblase durch diese Oeffnung beobachten kann. So vorgerichtet werden sie entweder auf den Flächen, deren Horizontalität sie anzeigen sollen, festgeschraubt, oder mittelst Haken an die Axen der Meſsinstrumente aufgehangen, oder an beiden Enden mit Füſsen versehn, um sie auf die zu prüfenden Flächen zu stellen. Meistens sind sie zugleich mit Correctionsschrauben versehn, um geringe Fehler zu corrigiren, falls sie nicht gehörig rectificirt seyn sollten. Dabei ist Folgendes zu bemerken. Denken wir uns, daſs die obere Berührungslinie der Flüssigkeit und des Glases eine genau horizontale wäre, so würde zwar die Luftblase bei der geringsten Neigung der Libelle sich sofort nach dem gehobenen Ende hin bewegen, allein auf einer genau horizontalen Ebene könnte die Blase an jeder Stelle der ganzen Röhrenlänge zum Stillstande kommen, was die Messung mit ihnen unnöthig erschweren und durch zu groſse Empfindlichkeit fast unmöglich machen würde. Befände sich nämlich die Blase am einen Ende der Wasserwaage, so müſste man hieraus auf eine Erhöhung der zu prüfenden Ebene nach der Seite der Luftblase hin schlieſsen, allein der Stand der Blase könnte auch bloſse Folge des Zufalls seyn, sie würde sich bei der geringsten Aenderung der Ebene sogleich ganz ans entgegengesetzte Ende begeben, dadurch die nämliche Ungewiſsheit herbeiführen, und ihr Stand daher bloſs von den Hindernissen ihrer Bewegung abhängen, sofern eine absolute Horizontalität physisch überall nicht zu erreichen ist. Wäre dagegen die Röhre gekrümmt, die Convexität gegen den Mittelpunct der Erde gerichtet, so würde die Luftblase sich stets an einem der beiden Enden derselben befinden, und bei jeder, der Stärke ihrer Krümmung proportionalen Abweichung von der Horizontalität vom einen Ende zum andern überspringen, sie könnte in der Mitte nicht zum Stillstande kommen, und der Apparat wäre gänzlich unbrauchbar. Hieraus ergiebt sich, daſs die Röhre nothwendig etwas gekrümmt seyn muſs, und zwar die concave Seite dem Mittelpuncte der Erde zugewendet. Eine absolut gerade Röhre wäre einem in seinem Schwerpuncte aufgehangenen Waagebalken zu vergleichen, und

eine gekrümmte wird um so empfindlicher seyn, je geringer ihre Krümmung oder je länger ihr Krümmungshalbmesser ist. Da es wohl schwerer seyn dürfte, absolut gerade, als etwas gekrümmte Glasröhren zu bekommen, bei denen man bloſs zu beachten hat, daſs die convexe Seite bei der Fassung nach oben zu liegen kommt, so hat diese Aufgabe gar keine Schwierigkeiten; wäre aber eine solche Röhre wirklich absolut gerade, so würde es zur Erreichung der sehr geringen Krümmung genügen, in die Mitte der Fassung unter die Röhre eine geeignete Unterlage so zu legen, daſs sie dadurch in der Mitte etwas in die Höhe, an beiden Enden aber etwas herabgedrückt würde.

Was noch weiter zur vollständigen Erörterung der Sache erforderlich ist, findet sich bereits oben[1] gesagt, und es werden daher hier folgende Bemerkungen genügen. Sind die Wasserwaagen richtig, so ist es leicht, eine Ebene mittelst derselben horizontal zu stellen, ist jenes aber nicht der Fall, so müssen sie erst rectificirt oder corrigirt werden. Dieses geschieht allgemein dadurch, daſs man sie auf eine genau horizontale Ebene, meistens eine Spiegelglasscheibe, stellt, und an der Seite der Libelle, wohin die Blase aufsteigt, so lange wegnimmt, oder durch die Stellschraube so lange corrigirt, bis jene genau in der Mitte ruhig stehen bleibt. Bei den Dosenlibellen, die ohnehin auf einen sehr hohen Grad von Genauigkeit keine Ansprüche machen können, wird diese an sich leichte Operation bloſs dadurch etwas erschwert, daſs man von dem gröſsten Theile der unteren kreisförmigen Fläche wegnehmen muſs, jedoch beträgt dieses nur wenig und geschieht meistens bloſs durch Schleifen, wenn der Apparat ursprünglich genau gearbeitet ist. Bei den Röhrenlibellen sind in der Regel Stellschrauben zum Rectificiren angebracht, und wie dieses bei denen geschieht, die für feinere Meſsapparate bestimmt sind, ist bereits früher angegeben worden. Oft aber steht keine genau horizontale Ebene zu Gebote, und man muſs diese selbst erst mit einer unrichtigen Libelle herstellen, letztere aber zugleich rectificiren. Die Regeln für dieses Verfahren giebt die einfache Betrachtung, daſs der Fehler der Ebene sich dadurch offenbart, daſs beim Umdrehen der Libelle die Blase nach entgegengesetz-

1 S. Art. *Nivelliren.* Bd. VII. S. 93 ff.

ten Enden der Röhre sich bewegt, statt dafs der Fehler der Libelle sich durch das Aufsteigen derselben nach dem nämlichen Ende kund giebt. Man zeichne daher auf der möglichst horizontal gelegten Spiegelglasplatte eine gerade Linie, setze die Libelle so auf die Platte, dafs die verticale Ebene durch die Axe der Libelle auch durch die gezogene Linie geht, drehe die Libelle in der horizontalen Ebene durch ihre Axe wiederholt um 180 Grade um, und beobachte dabei jederzeit den Stand der Blase. So lange diese sich bei diesem Wechsel stets nach den entgegengesetzten Enden der Röhre bewegt, mufs die Lage der Glasplatte corrigirt werden, sobald aber die Blase sich stets nach der nämlichen Seite der Libelle bewegt, mufs letztere corrigirt werden, und zuletzt mufs man mit beiden Correctionen so lange fortfahren, bis die Blase bei wiederholten Drehungen stets in der Mitte der Röhre zum Stillstande kommt. Bei sehr feinen Apparaten mufs man zugleich einseitige Erwärmung vermeiden, weil sich die Röhre sonst theilweise ausdehnt und die Luftblase zum erwärmten Ende hineilt. Ein ähnliches Verfahren bringt man in Anwendung, wenn eine Nivellirwaage geprüft werden soll. In diesem Falle stellt man das Instrument auf, und richtet das mit der Libelle verbundene Fernrohr so, dafs die Luftblase sich genau in der Mitte befindet, stellt vor dem Objectivglase des Fernrohrs eine Latte vertical auf, und bezeichnet diese genau in der Höhe der Axe des Fernrohrs mit einer horizontalen Linie. Wird diese Latte in einer Entfernung von 50 bis 100 Fufs und auch wohl darüber lothrecht aufgestellt, so müfste bei vollkommener Horizontalität dieser beiden Puncte oder der gegebenen Ebene und bei fehlerloser Messung der Höhe über dem Boden bis zur Axe des Fernrohrs, abgesehn von der Krümmung der Erde, der horizontale Spinnfaden im Fernrohre mit dieser Linie zusammenfallen, und zwar auch dann, wenn die Stationen verwechselt und das Nivellirinstrument an der Stelle der Latte und diese an der Stelle des Instrumentes aufgestellt würde. Ein Fehler im Stande der Libelle würde dagegen verursachen, dafs der horizontale Spinnfaden im Fernrohre beim Wechsel der Stationen um gleiche Entfernungen entweder über oder unter diese Linie fiele, und man könnte jenen Fehler dadurch beseitigen, dafs man die Libelle so lange corrigirte, bis dieses wegfiele. Ist aber die Ebene nicht genau horizontal, so fällt die Gesichtslinie durch den ho-

rizontalen Spinnefaden auf der einen Station ebenso weit über, als auf der andern unter diese richtige Mittellinie, und hieraus ergiebt sich die erforderliche Correction von selbst, welche darin besteht, daſs man mit den Stationen wechselnd nach der genannten Latte visirt, und das Fernrohr nebst der daran befestigten Libelle so lange auf der einen Station neigt und auf der entgegengesetzten erhebt, bis die Gesichtslinie des Spinnefadens jederzeit mit dem horizontalen Striche der Latte zusammenfällt. Ist dann die Libelle richtig, so muſs die Blase in beiden Fällen um gleiche Theile nach entgegengesetzten Seiten abweichen, der hierbei statt findende Unterschied aber wird an der Libelle corrigirt. Um den Werth der Abtheilungen zu bestimmen, die sich auf den feineren Wasserwaagen gezeichnet befinden, giebt NIXON[1] ein Verfahren an, welches mir aber keine Vorzüge vor dem gewöhnlichen bequemeren, oben bereits beschriebenen, zu haben scheint.

M.

Wellen.

Wogen, Undulationen, Vibrationen; *Undae, Undulationes, Vibrationes;* Ondes, Vibrations; *Waves, Vibrations.*

Unter Wellen verstand man in der früheren Zeit bloſs die bekannten Wasserwellen, die sich auf Flüssen und hauptsächlich auf stehenden Gewässern um so viel gröſser zeigen, je ausgedehnter die Wasserfläche und je tiefer das Wasser ist; in neueren Zeiten aber hat man gefunden, daſs viele sonstige Erscheinungen auf wellenartigen Bewegungen beruhn. CARTESIUS nahm nicht sowohl Wellen, als vielmehr Wirbel in seinem fingirten Aether an; es lag in dieser Hypothese allerdings die sinnreiche Idee wellenartiger Bewegungen in ätherischen Flüssigkeiten, weil er aber zu viel daraus folgerte, so fand sie bei den meisten spätern Physikern keinen Beifall, auſser bei einigen wenigen, namentlich HUYGHENS und L. EULER in Bezie-

1 Philos. Magaz. 1829. March. p. 175. Wiener Zeitsch. Th. VI. S. 252. Fechner Repert. Th. I. S. 5.

hung auf das Licht, vermuthlich deswegen, weil das stets gleichmäfsige Ausströmen eines um die Sonne angehäuften ätherischen Lichtstoffes ein wahrhaft unfafsbarer Begriff ist. Dabei darf jedoch nicht übersehn werden, dafs Newton die Fortpflanzung des Schalles genau auf die Wellentheorie zurückführte, und wenn seine Nachfolger dieses Element richtig verstanden und hiernach die Schalllehre wissenschaftlich bearbeitet hätten, so würde dieses schon früher auf gleiche Weise zu einer richtigern Theorie des Lichtes geführt haben, wie es später nach Chladni durch Thom. Young und seine Nachfolger geschah. Seit dieser Zeit ist die Wellentheorie so wohl für sich, als auch in ihren zahlreichen Anwendungen sehr vollständig ausgearbeitet worden, und es war daher bereits an verschiedenen Stellen dieses Werkes von den Lichtwellen, den ihnen sehr ähnlichen Schallwellen u. s. w., wie auch nicht minder von Wasserwellen ausführlich die Rede; es fehlt daher nur noch eine Untersuchung über die Wellen im Allgemeinen. Hierüber besitzen wir aber ein ebenso vollständiges als gründliches Werk von den Gebrüdern Ernst Heinrich und Wilhelm Weber[1], woraus genügende Belehrung über diesen Gegenstand zu schöpfen ist. Da ich inzwischen bei einer neuen Bearbeitung dieses wichtigen Zweiges der physikalischen Wissenschaften hinter dem bereits Geleisteten zurückbleiben würde, diese Aufgabe aber der Vollständigkeit wegen hier nicht fehlen darf, so ist es nicht blofs erlaubt, sondern sogar nothwendig, die angezeigte classische Arbeit hierbei zum Grunde zu legen.

A. Wellen im Allgemeinen.

1) Um eine anschauliche Vorstellung von den Wellen, den Vibrationen überhaupt zu erhalten, dient vorzüglich der oben[2] ausführlich erzählte Versuch, wonach das Wasser in den aufwärts gerichteten Schenkeln einer heberförmig gebogenen Röhre in isochronischen Schwingungen aufsteigt und wieder herabsinkt. Hierbei, so wie beim Pendel, ist die Schwere diejenige Kraft, welche den aus dem Zustande des Gleichgewichtes

1 Wellenlehre auf Experimente gegründet oder über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen. Leipz. 1825. 8.

2 S. Art. *Sprungkegel*. Bd. VIII. S. 979.

gebrachten Körper wieder zu demselben zurückführt, die Elasticität wirkt auf gleiche Weise, die Trägheit oder das Beharrungsvermögen bewirkt in allen Fällen, dafs der bewegte Körper über den Zustand des Gleichgewichts, wie es bei seinem Ruhen statt fand, hinausgerückt wird, bis die Bewegung durch die entgegenwirkende Kraft $= 0$ wird und letztere eine neue Bewegung erzeugt. Insofern aber die bewegende Kraft sich selbst stets gleich bleibt, so müssen in gleichen Zeiten gleiche Räume zurückgelegt werden, alle Oscillationen daher isochronisch seyn, und abgesehn von den Hindernissen der Bewegung müfsten sie, einmal erzeugt, ins Unendliche fortdauern. Das Erstere findet wirklich statt, hinsichtlich des Letzteren ist aber die Dauer den Hindernissen der Bewegung umgekehrt proportional.

2) Nach *Weber* giebt es zwei Arten schwingender Bewegungen, eine fortschreitende (*oscillatio progressiva*) und eine stehende (*oscillatio fixa*); die fortschreitende ist gleichbedeutend mit der Wellenbewegung (*motus undulatorius*), unter die stehenden gehören aber die so eben beschriebenen. Zur Erläuterung der fortschreitenden dient das Verhalten eines gespannten Seiles AB. Fig. 94.
Stöfst man dasselbe in b pötzlich in die Höhe, so legt es sich in die Lage a b′ c′ d, zeigt aber, indem der Stofs sich nur allmälig fortpflanzt und das Seil successiv in die Lagen der punctirten Linien kommt, eine nach B fortschreitende schwingende oder Wellenbewegung. Ist die Ausbeugung bei B angekommen, so schreitet sie auf die nämliche Weise rückwärts in der Gestalt von k i′ h′ g u. s. w. fort. Hierüber angestellte Versuche zeigten bei einem 50 Ellen langen, einen halben bis ganzen Zoll dicken Seile eine und dieselbe Welle wohl 12- bis 16mal mit gleichbleibender Geschwindigkeit vorwärts und rückwärts laufend, indem jederzeit beim Vorwärtsgehn die Ausbiegung nach oben, beim Rückwärtslaufen nach unten gerichtet war. Hierbei schreitet die Bewegung nach der Länge des Seiles in der Art fort, dafs jeder einzelne Punct successiv sich hebt, beim Fortgehn im höchsten Puncte und beim Rückgange im tiefsten zum Stillstande seiner Bewegung kommt. Ferner ist die Spannung nicht in allen Puncten des Seiles gleich grofs, vielmehr ist sie in a am stärksten, dort wird die aufwärtsgehende Bewegung am frühesten wieder in eine rückwärtsgehende verwandelt, die Bewegung wird von A aus aufgehoben, während sie sich nach B

hin fortpflanzt. Hiernach mufs in jedem elastischen Körper, wenn nicht Hindernisse dieses unmöglich machen, die entstandene Schwingung sich fortpflanzen, und da die Bedingungen hierzu überall gegeben sind, so finden sich die fortschreitenden Wellen ungleich häufiger, als man meistens annimmt, indem man sie nur in der Luft bei der Fortpflanzung des Schalles und auf dem Meere in den Wellen wahrzunehmen pflegte. Inzwischen versuchte Dan. Bernoulli[1], diese Wellen, die er *oscillationes compositas* nannte, zu berechnen, indem er dabei die Bewegungen der Glieder einer oscillirenden Kette oder der Kugeln, an einem biegsamen Faden aufgehangen, zum Grunde legte, auch L. Euler[2] behandelte dieses Problem, und zwar zugleich bestimmt die fortschreitenden Wellen eines gespannten Seiles.

3) Die zweite Art der Schwingungen, die *stehenden*, zeigen sich vorzugsweise bei tönenden Körpern und werden hierbei am leichtesten und besten wahrgenommen; sie sind nicht blofs bei festen und expansiblen Körpern möglich, sondern nach den Untersuchungen Weber's auch bei tropfbar-flüssigen, und unterscheiden sich durch folgende Umstände:

a) Bei der stehenden Oscillation eines Körpers fangen alle Puncte desselben ihre Schwingungen gleichzeitig an, und vollenden sie auch in gleicher Zeit, bei der fortschreitenden gerathen sie successiv in Schwingung und die zuerst in Schwingung versetzten verursachen die der übrigen successiv.

b) Bei der stehenden Oscillation eines Körpers üben alle Puncte desselben wechselseitig einen gleich grofsen bewegenden Einflufs auf einander aus, und deswegen ändert ein schwingender Punct durch Mittheilung der Bewegung die Schwingung benachbarter Puncte nicht ab; denn wenn jeder Punct von den ihm benachbarten Puncten so viele bewegende Kraft abgetreten erhält, als er ihnen selbst abgiebt, so behält jeder Punct seine Schwingung ungeändert bei. Dagegen ist die Spannung zwischen den Theilen, die zur Bildung einer Welle beitragen, ungleich grofs, und die Welle schreitet daher nach der Seite hin fort, wo die Spannung zwischen den Theilchen geringer

---

1 Comment. Petrop. T. VI. p. 108. T. VII. p. 162. T. XIII. p. 97.

2 Acte Petrop. pro anno 1779. p. 89. T. XVII. p. 404.

ist; es liegt also der Grund, warum jedes Theilchen der vordern Hälfte einer Welle sich bewegt, in dem überwiegenden Einflusse, den jedes hinter ihm gelegene Theilchen auf dasselbe ausübt.

c) Bei der stehenden Oscillation wird daher jedem schwingenden Theile von entgegengesetzten Seiten her eine gleich groſse Bewegung mitgetheilt, statt daſs den Theilchen eines Körpers, welche durch eine Wellenbewegung in Schwingung kommen, von der Seite her, von welcher die Welle kommt, nicht aber gleichzeitig von der entgegengesetzten, wohin die Welle geht, Bewegung mitgetheilt wird.

4) Die stehenden Wellen wiederholen sich, und dauern pendelartig fort, so lange bis die Hindernisse der Bewegung diese endlich aufhören machen. Eine deutliche Vorstellung ist leicht zu erhalten, wenn man sich eine gespannte Seite AB Fig. 95. denkt, die in den Puncten a und e unbeweglich befestigt ist. Wirkt eine bewegende Kraft auf alle ihre Theile, so werden diese sich von der ruhenden Lage oder der geraden Linie, die sie bildeten, entfernen, bis ihre Spannung die Bewegung aufhören macht, nachdem sie die möglichst gröſste Entfernung von der Lage der Ruhe angenommen haben; die Spannung macht sie dann sich rückwärts bewegen, bis sie in der Lage der Ruhe das Maximum ihrer Geschwindigkeit erhalten haben, und vermöge der Trägheit sich abermals über diese Lage hinaus bewegen, bis ihre Spannung sie an der entgegengesetzten Seite abermals zur Ruhe bringt und eine neue Oscillation eintritt. Da hierbei die Ursachen und Wirkungen stets gleich bleiben, so müssen diese Oscillationen isochronisch seyn und würden ohne vorhandene Hindernisse der Bewegung ins Unendliche fortdauern[1]. Wird dagegen die Bewegung im Puncte c gehindert, ist zugleich ac von gleicher Länge als ce, erhält der Theil ce gleichzeitig einen Stoſs nach der entgegengesetzten Richtung, als ac, und ist endlich die Saite im Puncte c nicht absolut fest, wie in den Puncten a und e, so daſs die von a nach c gelangte Wellenbewegung sich von hier aus nach der entgegengesetzten Seite, als von a bis c fortpflanzen kann, so wird in allen diesen Fällen in c ein Ruhepunct, ein *Schwingungsknoten* entstehn, indem die von a nach c fortschreitende

1 Vergl. Art. *Widerstand.*

und die von e nach c rücklaufende Welle sich im gemeinschaftlichen Puncte c begegnen, also einander aufheben. Auf diese Weise verwandeln sich also die fortschreitenden Wellen in stehende, wie zuerst Bernoulli[1] gezeigt, Chladni aber zugleich auf die longitudinalen und drehenden Schwingungen angewandt hat; Weber endlich zeigte, wie man diesen Uebergang dem Auge sichtbar machen kann, wenn man ein langes, etwas starkes Seil am obern Ende befestigt, am unteren mit der Hand faſst, und durch schnelle kreisförmige Bewegung rotatorische Wellen von der bestimmten Breite uud in den bestimmten Zwischenräumen der Zeit erregt, wobei sich die groſsen fortschreitenden Oscillationen in stehende verwandeln. Auch die drehenden Schwingungen nebst den hierbei entstehenden *Knoten* lassen sich auf diese Weise sichtbar machen. Hierzu dient gleichfalls ein am oberen Ende befestigtes Seil, dessen unteres man mit der Hand hält, durch welche man ihm eine schnelle drehende Bewegung mittheilt, die dann an demselben vielmal hin und her läuft.

5) Schwingende Bewegungen, Wellen dieser Art, kommen in der Natur sehr häufig vor, sowohl bei festen und expansibeln, als auch bei tropfbar-flüssigen Körpern. Einige derselben sind groſs genug und erfolgen hinlänglich langsam, um durch die Sinne wahrgenommen zu werden, wie die Wellen des Wassers und Quecksilbers, die an langen Seilen und langen, dünnen Stäben sich zeigenden; man kann sich dieselben aber auch so groſs und so langsam denken, daſs sie eben dadurch unwahrnehmbar werden, und solche finden sich gleichfalls in der Natur. Sehr viele derselben sind auf der andern Seite zu klein und gehn zu schnell vorüber, als daſs sie wahrnehmbar seyn sollten; bloſs eine gewisse Menge von ihnen oder vielmehr ihre Successionen werden im Schall von den Nerven des Ohres oder vom Auge als Licht wahrgenommen. Auſser diesen nicht an sich, sondern nur aus ihren Wirkungen wahrnehmbaren, giebt es höchst wahrscheinlich noch viele andere, die bis jetzt noch gar nicht erkannt sind, von deren Daseyn aber uns die Zukunft überzeugen wird, wenn dieses anders überhaupt möglich ist. Vielleicht gehören hierhin die sicher existirenden Undulationen der Wärme, die problemati-

1 Comment. Petrop. T. XIII. ad ann. 1740.

schen der Elektricität und des Magnetismus, und vielleicht noch andere. Ueber die bekannten Arten der Wellen, namentlich die Schallwellen[1], die Lichtwellen[2] und in einigen Puncten auch die Meereswellen[3], ist bereits gehandelt worden, es kommt hier aber zunächst noch die Wellenbewegung der Flüssigkeiten zur Untersuchung.

6) Die undulatorischen Bewegungen in den Flüssigkeiten können eintreten, sowohl wenn diese in vollkommener Ruhe, als auch wenn sie in Bewegung sind. Im ersten Falle werden sie erzeugt, sobald das Gleichgewicht der einzelnen Flüssigkeitssäulen, woraus man sich die ganze Masse zusammengesetzt vorstellen kann, gestört wird; entweder wenn das Gewicht einer solchen Säule vermehrt, oder wenn es vermindert wird, z. B. wenn man einen schweren Körper auf die ebene Wasserfläche fallen läſst oder einen in das Wasser eingetauchten Körper herauszieht. Die wellenerregende Ursache ist entweder momentan wirkend und dann aufhörend, worauf die Bewegung von selbst fortdauert, oder sie ist fortwährend wirkend, und modificirt hierbei die einmal erregten Wellen beständig. Natürlich ist dieser letztere Proceſs der zusammengesetztere und verwickeltere, man hat aber auf ihn bei weitem die meiste Aufmerksamkeit gerichtet, weil er bei den Meereswellen vorkommend vorzügliches Interesse erregte.

7) Die Ursache, welche die Meereswellen erregt, ist zunächst der Wind, indem dieser theils in seiner Richtung gegen das Wasser stöſst und es niederdrückt, theils an der Oberfläche desselben nach Franklin's Ansicht haftet und es in seiner Bewegung mit sich fortreiſst. Diese Einwirkungen erfolgen ruckweise und zeigen sich nur in der Erzeugung der kleinen Wellen auf der ruhigen Oberfläche des Wassers. Inzwischen werden diese an den Stellen, worauf der Wind am stärksten stöſst, erzeugten kreisrunden, nach allen Seiten sich ausbreitenden Wellen durch verschiedene Ursachen verstärkt, und zwar zuerst durch die fortdauernde Wirkung des Windes auf die in seiner Richtung fortlaufenden Wellen, dann durch

---

1 S. Art. *Schall.* Bd. VIII. S. 180 und *Undulation.* Bd. IX. S. 1269.

2 S. Art. *Undulation.* Bd. IX. S. 1301.

3 S. Art. *Meer.* Bd. VI. S. 1736.

die Vereinigung mehrerer kleiner zu einer gröſseren Welle, ferner durch den Druck, welchen jede Welle auf die ihr zunächst liegenden ausübt, und endlich durch die Durchkreuzung der Wellen, die sich in entgegengesetzter Richtung bewegen. Bei jeder Welle, wenn wir uns dieselbe fortschreitend denken, ist die vordere Seite aufsteigend, die hintere dagegen niedersinkend, und indem der Wind gegen die letztere drückt, befördert er dadurch ihr Niedersinken und dieses wiederum das Aufsteigen der vorderen Seite; bei denjenigen Wellen aber, die dem Winde entgegenkommen, findet das entgegengesetzte Verhalten statt. Franklin vergleicht dieses mit den Schwingungen einer Glocke, die stets zunehmen, wenn man bei jeder ihrer aufsteigenden Bewegung auch nur einen kleinen Stoſs, selbst bloſs mit dem Finger, hinzufügt; auch erklärt sich hieraus die paradoxe Erscheinung, daſs die Meereswellen dem heftigen Winde entgegen ans Ufer getrieben werden. Aus dem aufgehobenen Gleichgewichte der einzelnen Wassermassen und den hierdurch erzeugten Oscillationen (§. 1) folgt aber, daſs eine Welle, sobald sie so weit, als ihre Breite beträgt, weiter gerückt ist, eine neue Welle hinter sich erzeugt, und daſs auf diese Weise gegen 30 bis 40 und mehr Wellen hinter einander entstehn, die sich gegenseitig bedingen und in ihren Oscillationen beharren, wenn die erste sie erzeugende längst vorübergegangen ist. Die groſse Regelmäſsigkeit der Höhe und der Bewegung der Wellen wird hieraus erklärlich, da dieses mit der Ungleichheit der Windstöſse nicht im Einklang steht, und nicht statt finden würde, wenn sich die Wellen nicht unter sich bedingten. Als eine besondere modificirende Bedingung ist aber die *Durchkreuzung* der Wellen zu betrachten, welche leicht eine Erhebung des Wassers zur doppelten Wellenhöhe herbeiführen kann. Solche Durchkreuzungen finden allezeit statt, und erklären das Phänomen, daſs die höchsten Wellen oft zu zerrinnen scheinen, was mit anderweitigen, über sie bestehenden Gesetzen unverträglich seyn würde. Nach James Horsburgh[1] sieht man aber häufig zwei Wellenbewegungen mit verschiedenen Richtungen, die sich mannigfaltig durchkreuzen, ja man gewahrt sogar drei solche Wellensysteme, die einen ganzen Tag ihre Richtung und Geschwin-

1 Nicholson's Journ. Th. XV. p. 6. G. XXXII. 405.

digkeit regelmäfsig beibehalten und sich fortwährend durchkreuzen.

Hiermit hängt die merkwürdige Erscheinung zusammen, dafs die gröfseren Wellen sich schneller bewegen, als die kleineren gekräuselten, weswegen die ersteren unter den letzteren hinzulaufen, diese aber zu ruhen scheinen, wie wenn man eine Walze unter einem Stücke Zeug hinrollt.

8) Die durch die angegebenen Ursachen wachsenden Wellen erhalten ihre enorme Gröfse nur unter der Bedingung, dafs die Wasserfläche sehr grofs und die Tiefe beträchtlich ist. Die erste Bedingung ist deswegen nothwendig, weil nur dann die weit fortschreitenden Wellen durch den Wind anhaltend wachsen, die Tiefe des Wassers ist aber unerläfsliche Bedingung, weil eine grofse, oft bis zum Meeresboden reichende Wassermasse in Bewegung gesetzt werden mufs. Haben die Wellen einmal ihre gröfste Höhe über tiefen Stellen erreicht, und kommen sie dann über minder tiefe, so nehmen sie an Höhe beträchtlich zu, werden aber an der Vorderseite durch gehinderte Bewegung so steil, dafs sie sich nicht halten können, sondern branden. Ueber die absolute Höhe der Wellen, wobei jedoch nur von Meereswellen die Rede seyn kann, ist bereits das Nöthige gesagt worden[1], spätere Zeugnisse bestätigen übrigens, dafs dieselbe so bedeutend nicht ist, als manche poetische Beschreibungen sie angeben, denn auch Pentland[2] versichert, dafs sie in der Nähe von Cap Horn bei einem heftigen Sturm 20 engl. Fufs nicht überstiegen.

Von den Wellen, die auf einer ruhigen Wasserfläche namentlich durch einen plötzlichen Stofs erzeugt werden, unterstützen die vorderen die nachfolgenden, und befördern deren Höhe, während sie selbst, sofern ihnen diese Unterstützung mangelt, sich allmälig verflachen, an Breite zunehmen und dadurch verschwinden. Weber giebt an, wie man sich hiervon durch den Anblick überzeugen könne. Wirft man einen Stein in ruhiges Wasser, wartet man, bis das Wasser an dieser Stelle wieder ruhig geworden ist, fafst man eine der Wellen, die diesem Puncte am nächsten sind, fest ins Auge, und geht man,

---

1 S. Art. *Meer*. Bd. VI. S. 1740.

2 Comptes rend. T. V. p. 703. Poggendorff's Ann. Th. XLII. S. 592.

ohne sie zu verlieren, einige Schritte vorwärts, so sieht man 40 bis 50 Wellen, die scheinbar von der glatten Stelle ausgehen, vor sich vorüberziehn, wobei sich allezeit die vorderste mehr verflacht und allmälig verschwindet, welches dann jede folgende trifft, die demnächst zur vordersten wird. Stellt man den Versuch bei fliefsendem Wasser an, so werden die entstehenden Wellen durch die eigene Bewegung des Wassers verzerrt, und es läfst sich aus ihrer Gestalt auf die ungleiche Geschwindigkeit der einzelnen Wassermassen schliefsen.

9) Jede Welle besteht aus einem Wellenberge und einem Wellenthale[1], deren Begrenzungslinie, wenn man sie durch eine auf ihre Länge perpendiculäre verticale Ebene geschnitten sich vorstellt, eine durch mannigfaltige Umstände abgeänderte Curve bildet. Nach Flaugergues[2] ist der hintere Theil der Welle, von der Spitze des Berges an gerechnet, parabolisch gekrümmt, der vordere dagegen nach einer Curve, die er eine Begleiterin der Cykloide nennt; nach Gerstner[3] ist die Krümmung von einer Spitze bis zur andern entweder eine gemeine oder eine geschleifte Cykloide. Die Versuche der Gebrüder Weber ergeben, dafs nach Umständen die Curven sehr verschieden sind, mehr oder weniger gedehnt und daher steiler oder flacher erscheinend; oft sogar sind die Hintertheile und die Vordertheile sowohl der Wellenberge, als auch der Wellenthäler einander so ungleich, dafs sie von einander ganz unabhängig scheinen. Bei den Meereswellen, auf welche der Druck des Windes fortdauernd wirkt, deren Gestalt aufserdem durch die vorausgehenden Wellen, mitunter auch durch den Einflufs des Bodens bedingt wird, ist die Verschiedenheit aus den obwaltenden Umständen leicht erklärlich, und man gewahrt bei Stürmen, wie mich eigene Erfahrung lehrte, nicht selten, dafs die Vorderseiten der Wellen statt einer convexen vielmehr eine concave Fläche bilden. Die Gebrüder Weber senkten in die Wellenrinne, worin sie die Wellen künstlich erzeugten, eine Glasscheibe oder eine Schiefertafel senkrecht hinab, und zwar waren diese mit Mehl bestreuet, wenn sich Quecksilber darin befand, rein aber,

1 Vergl. Art. *Meer*. Bd. VI. S. 1744.

2 Verhandelingen uitgegeeven door de Hol. Maatschappye der Wetens. te Haarlem. XXIX. Deel. p. 191. Nach Weber S. 197.

3 Theorie der Wellen cet. Prag 1804. §. 14 u. 19.

wenn die Versuche mit Wasser oder Weingeist angestellt wurden. Im ersten Falle zeichneten die Wellen sich durch den weggestofsenen Staub, im zweiten durch Benetzung selbst ab, und sie erhielten auf diese Weise mit Anwendung verschiedener anderweitiger Kunstgriffe genau die Form der Wellen, jedoch nicht solcher, die sich stets wieder erneuern und hinter einander fortlaufen, wie die auf dem Meere.

Eine eigene Art von Wasserwellen habe ich oft zufällig beobachtet, und ihr Anblick kann dazu dienen, eine anschauliche Vorstellung von der Wellenbewegung überhaupt zu erhalten. Sie lassen sich leicht erzeugen und mit vieler Genauigkeit beobachten. Hierzu dient am besten eine etliche Fufs lange und etwa 0,75 bis 1,25 Zoll im innern Durchmesser haltende Glasröhre, und da das wiederholte Füllen derselben mit Wasser lästig seyn würde, so wendet man am zweckmäfsigsten die bereits beschriebene *Mayer'sche Röhre*[1] dazu an, die sich leicht durch die erforderlichen Hebungen wieder füllen läfst. Ist dieselbe bis zu einer gewissen Höhe, am besten ganz, mit Wasser gefüllt, hebt man das untere Ende einen Moment aus dem Wasser, und läfst man eine 0,5 bis 1,5 Zoll lange Luftblase darin aufsteigen, so bilden sich aus dem von oben um sie herum herabfliefsenden Wasser einander folgende Wellen, die ohne Zweifel dadurch entstehn, dafs das Wasser durch seine Adhäsion an den Wandungen des Glases im Fliefsen gehindert wird. Die Breite der Wellen nimmt mit zunehmender Höhe der Blase ab; ist diese zu gering, so wird die Breite so grofs, dafs zwei Wellen neben einander nicht Platz haben und daher nicht unterschieden werden, ist sie aber zu grofs, so wird die Breite der Welle zu klein, als dafs man sie wahrnehmen könnte.

B. Resultate aus den Versuchen der Gebrüder Weber.

10) Um die Bewegung im Innern der wellenförmig bewegten Flüssigkeiten zu beobachten, verfertigten die Gebrüder Weber einen gröfseren und einen kleineren Apparat, die sie

1 S. Art. *Aerostatik*. Bd. I. S. 266.

Wellenrinnen nannten. Der kleinere bestand aus einem etwas über 5 Fuſs 4 Zoll langen Bodenbrete mit zwei tiefen Stufen, in welche parallele, 6,7 Lin. von einander abstehende, Glasscheiben eingekittet waren, die einen 5 Fuſs 4 Zoll langen, 6,7 Zoll breiten und über 8 Zoll tiefen Raum einschlossen, um die zu untersuchende Flüssigkeit bis zu einer beliebigen Höhe aufzunehmen. Der zweite Apparat war auf ähnliche Weise construirt, aber gröſser, indem er einen 6 Fuſs langen, 2,5 Fuſs tiefen und 13,4 Lin. breiten Raum einschloſs, auch bestanden bei ihm die Seitenwandungen aus Holz mit eingeschobenen Glasscheiben. Es darf kaum bemerkt werden, daſs die Wandungen gegen jede Art der Biegung durch hinlängliche Streben gesichert waren. Um hierin eine Wellenbewegung hervorzubringen, diente eine Glasröhre, die, am einen Ende eingesenkt, durch Saugen mit einer Flüssigkeitssäule bis zu einer gewissen Höhe gefüllt wurde, und wenn diese dann plötzlich herabsank, so lieſsen sich durch die Glaswände sowohl die Wellen auf der Oberfläche, als auch die Bewegungen der in den Flüssigkeiten schwimmenden Theilchen beobachten. Werden in diese Rinne mittelst eines Hebers Flüssigkeiten von ungleichen specifischen Gewichten gebracht, z. B. gefärbter Branntwein, sehr flüssige Oele, Wasser, Quecksilber u. s. w., so bilden diese verschiedene einander parallele Oberflächen, und es lassen sich dann sowohl die Oberflächen der in ihnen gebildeten Wellen, als auch die Bewegungen im Innern derselben wahrnehmen. Zur genaueren Messung diente auſserdem ein Mikroskop und ein sehr feiner Federcirkel, dessen Spitzen sich zwischen dem Objective des Mikroskops und der Glastafel der Wellenrinne befanden, und zugleich mit den kleinen Theilchen gesehen wurden, die sich in den Wellen der Flüssigkeiten bewegten.

11) Wenn die unter einander verbundenen Wellenberge und Wellenthäler einander gleich oder fast gleich sind, so beschreiben die einzelnen Wassertheilchen in sich selbst zurücklaufende oder fast zurücklaufende Curven, die in einer verticalen Ebene liegende Ellipsen zu seyn scheinen. Beim Fortschreiten eines Wellenberges in der Wellenrinne bewegten sich alle in der Flüssigkeit schwebende Theilchen successiv in einem Bogen
Fig. 96. abc aufwärts, vorwärts und abwärts in der Richtung, in welcher der Wellenberg selbst fortschritt, und der senkrechte Abstand des höchsten Punctes b vom Niveau ac war der Höhe

des Wellenberges genau gleich; folgte hinter dem Wellenberge ein gleich tiefes Wellenthal, so bewegte sich das Theilchen durch den Bogen cda wieder an seinen Ort zurück, mithin der Richtung der fortschreitenden Welle entgegen, wobei die Tiefe unter dem Niveau der früheren Höhe gleich war. Sofern aber ein Wellenberg und ein Wellenthal stets mit einander verbunden sind, so finden jederzeit beide Bewegungen statt. Wenn aber die Wellenberge und Wellenthäler einander nicht gleich sind, wie dann der Fall ist, wenn sie einander nicht regelmäfsig folgen, sondern eine Welle sich im ruhigen Wasser bewegt, so legen die Theilchen keine in sich zurücklaufende krumme Bahn zurück, sondern ihre Bahnen sind a b c d e oder Fig.
a′b′c′d′e′. Die Bahnen der Flüssigkeitstheilchen entfernen sich 97.
schon an der Oberfläche anscheinend von der Kreisform, gehen aber mit der Tiefe zunehmend zu gestreckteren Ellipsen über, die sich in gröfserer Tiefe in gerade Linien verwandeln, was ohne Zweifel eine Folge der Einwirkung des Bodens ist. Ueberraschend war dabei die Wahrnehmung, dafs die bis 15 Zoll Tiefe in der kleinen Wellenrinne stets gestreckter werdenden Bahnen 6 bis 7 Zoll über dem Boden weniger gestreckt zu werden anfingen. Diese Bewegung der Wassertheilchen erstreckte sich bis zu einer Tiefe, welche 350 mal gröfser war, als die Höhe der Welle, und war daselbst sogar mit unbewaffnetem Auge noch sichtbar; sie müfste demnach bei 10 Fufs hohen Meereswellen bis zu 3500 Fufs tief hinabreichen. Merkwürdig ist hierbei, dafs die Bewegungen der Wassertheilchen, die in der verticalen Linie unter einander liegen, den angestellten Beobachtungen gemäfs gleichzeitig beginnen, jedoch findet dieses nicht statt, wenn eine Lage Quecksilber sich unter einer Lage Wasser befindet, was jedoch eine Folge der ungleichen spec. Gewichte dieser Flüssigkeiten seyn mufs. Dagegen kommen die in der horizontalen Ebene liegenden Theilchen nur successiv, so wie die Welle selbst fortschreitet, in die schwingende Bewegung.

12) Die schwingenden Bewegungen der einzelnen Flüssigkeitstheilchen und ihren Zusammenhang mit der Gestalt der fortschreitenden Welle haben die Gebrüder Weber durch eine Zeichnung versinnlicht, welche die Sache sehr anschaulich dar- Fig.
stellt. Zur gröfseren Leichtigkeit wird vorläufig angenom- 98.
men, dafs die durch die Wassertheilchen durchlaufenen Bahnen

kreisförmig statt elliptisch sind, wonach dann die neben einander befindlichen Kreise α, β, γ..... diejenigen bezeichnen, welche die einzelnen Theilchen während der Wellenbewegung durchlaufen. Es sind drei Wellenlinien, die erste durch 1, 1, 1, 1, 1, die zweite durch 2, 2, 2, 2, 2, die dritte durch 3, 3, 3, 3, 3, bezeichnet, dargestellt, die einander folgen und sich durch die gewählte Art der Linien unterscheiden lassen. Um die Wellenlinie und die in der Welle statt findende, ihr zugehörige und mit ihr correspondirende Bewegung der einzelnen Theilchen zu finden, theilt man den Kreis in eine willkürliche Menge von Theilen. Es gehören dann allezeit so viele Kreise zur Darstellung einer ganzen Welle, als die Zahl der Theile beträgt, die man gewählt hat, weswegen diese auch ganz willkürlich ist. Es seyen die Kreise in 6 Theile getheilt, so gehören zur vollständigen Welle 6 Kreise, in denen die Theilchen successiv um ein Sechstel später in Bewegung gerathen und hiernach durch die Stelle, worin sie sich befinden, die Oberfläche der Welle bezeichnen, wozu sie gehören. Fängt demnach die Welle 1, 1, 1, ... in A an und rückt das ihr zueghörige Theilchen um $\frac{1}{6}$ des Kreises weiter, so muſs das der Welle zugehörige, um $\frac{1}{6}$ der Zeit später in Bewegung kommende Theilchen sich in B befinden, das des nächstfolgenden in C, und sonach wird die Oberfläche der Welle nach drei Zeittheilen sich in D befinden. Fährt man auf gleiche Weise die Umdrehung der Theilchen in den gegebenen Kreisen verfolgend fort, so gelangt man zu den Puncten E und F, zuletzt aber zum Anfangspuncte G, wo gleichzeitig die Welle wieder aufzusteigen anfängt, wenn sich in Folge der vollendeten ganzen Umdrehung in A die ihr zugehörige neue Welle bildet. Die Zeichnung versinnlicht zugleich auch das Verhalten, wonach die Bewegungen der Theilchen sich durchkreuzen. Hierüber bemerkt Weber, daſs die Schwingungsbahnen der unter einander liegenden Theilchen ebensowohl, als die Schwingungsbahnen der im senkrechten Querdurchschnitte der Wellen hinter einander liegenden Theilchen sich durchkreuzen. Allein die Theilchen treffen sich in den Kreuzungspuncten ihrer Bahnen dennoch nicht, stören sich daher auch nicht, und zwar deswegen, weil erstlich alle senkrecht unter einander liegende Theilchen gleichzeitig in die sich entsprechenden Puncte ihrer Bahnen treten, und weil zweitens zwei in einer horizontalen

Flüssigkeitsschicht unmittelbar hinter einander liegende Theilchen, wenn diese Schicht in Wellenbewegung kommt, ihre Bewegung successiv so beginnen, daſs jedes nächstvordere Theilchen um einen kleinen Zeitraum später an den entsprechenden Ort seiner Bahn gelangt, als das zunächst hinter ihm gelegene Theilchen. Diese successiv anfangende Bewegung bringt es mit sich, daſs da, wo sich die Bahnen der neben einander gelegenen Theilchen oben kreuzen, dasjenige Theilchen früher den Kreuzungspunct passirt, welches seine Bewegung später angefangen hat und welches dem vordersten Puncte der Welle näher liegt, daſs dagegen unten, wo sich die Bahnen zweier horizontal neben einander gelegenen Theilchen auch kreuzen, dasjenige Theilchen den Kreuzungspunct früher passirt, welches früher angefangen hat, sich zu bewegen, und dem hintersten Puncte der Welle näher liegt. Auf jeden Fall können also zwei in einer horizontalen Ebene einer Flüssigkeit neben einander liegende Theilchen niemals zugleich durch die Kreuzungspuncte ihrer beiden Bahnen laufen und sich treffen. Die in der Figur enthaltenen Pfeile bezeichnen die Bahnen, welche die tieferen Theile der Flüssigkeit durchlaufen, unter der Voraussetzung, daſs diese Bahnen sich stets gleich bleiben, was aber (nach §. 11) nicht in ganzer Strenge der Wahrheit gemäſs ist.

Aus dem bloſsen Anblicke der Figur gehen noch einige Thatsachen hervor, die an sich klar bloſs einer Hinweisung bedürfen. Während ein Theilchen der Flüssigkeit einmal seine Bahn durchläuft, schreitet die Welle, worin sich dasselbe befindet, um so viel fort, als ihre Breite beträgt, und daher durchläuft ein Theilchen so oft seine Bahn, als Wellen durch den Raum gehen, wo sich das Theilchen bewegt, und der senkrechte Durchmesser der Bahnen, welche die an der Oberfläche befindlichen Theilchen durchlaufen, ist der Höhe der Welle genau gleich. Dagegen findet nach Weber kein bestimmtes Verhältniſs zwischen dem horizontalen Durchmesser dieser Bahnen und der Breite der Wellen statt, vielmehr sind bei gleich hohen, aber ungleich breiten Wellen die Schwingungsbahnen in den breiteren Wellen nach ihrem senkrechten und horizontalen Durchmesser kleiner, in den schmäleren gröſser, und umgekehrt bei gleich breiten, aber ungleich hohen Wellen in den höheren Wellen nach beiden Durchmessern gröſser, als in den niedrigern.

Hiernach ist die Geschwindigkeit, womit ein Theilchen seine Bahn durchläuft, unter übrigens gleichen Bedingungen desto gröfser, je höher die Welle ist; denn die Bahnen sind in der niedrigeren und breiteren Welle kleiner, als in der höheren und schmaleren, und dennoch bedürfen die Theilchen mehr Zeit, um die kleinere Bahn zu durchlaufen, als zum Durchlaufen der gröfseren erfordert wird. Die Länge der Zeit, welche das Wassertheilchen zum Durchlaufen seiner ganzen Bahn bedarf, ist also von der Länge und Breite der Welle abhängig. Sehr auffallend ist aber das aus genauen Messungen hervorgehende Resultat, dafs von den in einer verticalen Linie unter einander liegenden Flüssigkeitstheilchen die oberen ihre Bahnen in längerer, die unteren in kürzerer Zeit durchlaufen. Die hieraus hervorgehende Folgerung, dafs demnach die unteren Wellen den oberen vorauseilen müfsten, fand sich nicht bestätigt, und es bliebe daher blofs übrig anzunehmen, dafs die tieferen Wellen schmäler seyn müfsten, was die Gebrüder Weber anzunehmen geneigt sind. Es scheint mir, als dürfe man die Erklärung aus dem (§. 11) angegebenen Umstande ableiten, dafs die tieferen Wassertheilchen nicht ganz in sich zurücklaufende Bahnen bilden und also diese verkürzten Bahnen in kürzerer Zeit mit zwischenliegenden Intervallen der Ruhe zurücklegen; doch ist es bedenklich, hierüber eine Hypothese zu wagen. Bemerkenswerth hierbei ist aber, dafs die Flüssigkeitstheilchen in der Tiefe nach dem Durchgange einer Welle eine regelmäfsige, lange fortgesetzte und sowohl an Gröfse als auch an Dauer lange gleichbleibende horizontale Hin- und Herbewegung annehmen, die einer stehenden Schwingung gleicht, und noch lange fortdauert, wenn die Theilchen in der Mitte und an der Oberfläche längst zur Ruhe gekommen sind.

Ist endlich diese Umdrehung der Flüssigkeitstheilchen einmal hervorgerufen, so folgt auf diese nicht sofort Ruhe, sondern sie wiederholt sich, wird aber etwas kleiner und in kürzerer Zeit vollendet, als die erste. Hierin liegt der Grund, dafs die über eine ebene Flüssigkeit fortrückenden Wellen andere ihnen nachfolgende Wellen erregen, deren Zahl bis zu 50 und selbst darüber steigt, wobei die vorausgehenden und nachfolgenden sich wechselseitig bedingen und die nachfolgenden zunächst stets kleiner, durch die vorauseilenden aber gehoben werden, so dafs die ersten Wellen sich mehr verfla-

chen und allmälig zerrinnen, die nachfolgenden erst wachsen, die diesen folgenden aber wieder abnehmen, bis sich die Ruhe der Flüssigkeit wieder herstellt.

13) Nehmen wir alles dieses zusammen, so wird daraus ersichtlich, daſs die Vorstellung, die man früher über die Wellenbewegung hegte, die zuerst von NEWTON[1] ausging und nachher von s'GRAVESANDE[2], D'ALEMBERT[3], GEHLER[4] und Andern angenommen wurde, durch die Versuche der Gebrüder WEBER eine wesentliche Abänderung erhalten hat. Dem Wesen nach gehört jene Vorstellung den stehenden Wellen an, paſst aber nicht auf die fortschreitenden. Hiernach bestehen die Wellen aus wechselnden Oscillationen (§. 1), indem die verticalen Flüssigkeitssäulen steigen und sinken, also an derjenigen Stelle ein Wellenberg aufsteigt, wo vorher ein Wellenthal war, und umgekehrt. Auf diese Vorstellung wurden NEWTON und die Gelehrten nach ihm wohl ohne Zweifel dadurch geführt, daſs sie der durch den Schein gegebenen Ansicht begegnen wollten, als seyen die Wellen fortlaufende Wasserberge, die sich mit einer der Wellenbewegung gleichen Geschwindigkeit fortrollten. Diesen Irrthum widerlegt eine genauere Betrachtung des Verhaltens; denn wenn die Schildkröten, ein Bret oder irgend ein schwimmender Körper sich auf dem wellenschlagenden Wasser befinden, so werden sie durch die Wellen abwechselnd in die Höhe gehoben und sinken wieder herab, ohne sich mit der fortschreitenden Welle fortzubewegen. Betrachtet man indeſs dieses Phänomen genauer, so überzeugt man sich bald, daſs die Gebrüder WEBER dasselbe schärfer und mit Vermeidung der so leicht dabei statt findenden Täuschung aufgefaſst haben; denn selbst wenn die Wellen einander regelmäſsig folgen und demnach stehende oder diesen ähnliche sind, so bleiben dennoch solche Körper, namentlich die kleineren, nicht stets in der horizontalen Lage, sie gleiten auch nicht von der Höhe des Wellenberges in die Vertiefung des Wellenthales herab, wie nothwendig der Fall seyn müſste, wenn der Wellenberg eine eigentliche Erhöhung des Wassers wäre,

---

1 Princip. Lib. II. Sect. 8. prop. 44.
2 Phys. Elem. Lib. III. cap. XI.
3 Encyclop. Art. *Onde.*
4 Wörterb. a. A. Art. *Welle.* Th. IV. S. 684.

von welcher dann die Wassertheilchen gleichfalls nach beiden Seiten in die Vertiefungen herabfliefsen würden, sondern die schwebenden Körper nehmen zugleich eine schaukelnde Bewegung an, steigen dabei in Folge des sich erhebenden Wellenberges, und sinken mit dem entstehenden Wellenthale, was eine natürliche Folge der richtig vorgestellten Wellenbewegung ist. Hiernach schreitet der Wellenberg gleichmäfsig über das Niveau der Flüssigkeit erhaben fort, ohne dafs die nämliche Wassermasse fortfliefst, indem vielmehr der Wellenberg sich fortwährend erneuert, wobei nicht alle Theile desselben gleichzeitig niedersinken und ebenso nicht alle Theile des Wellenthales gleichzeitig zu steigen beginnen, sondern das Steigen sowohl als auch das Niedersinken successiv erfolgt, so dafs einige Theile des Wellenberges im Steigen, andere im Niedersinken begriffen sind, was auf gleiche Weise auch bei den Wellenthälern statt findet. Die zwei Hälften eines Wellenberges sowohl, als auch eines Wellenthales befinden sich stets in einer entgegengesetzten Bewegung; während die vordere Hälfte des Wellenberges steigt, beginnt die hintere schon zu sinken, und mit ihr zugleich die ihr nächste Hälfte des Wellenthales, indem die hintere Hälfte des letzteren schon zu steigen anfängt. Die Gebrüder Weber bemerken mit Recht, dafs dann, wenn die Wellen nach Newton's Vorstellungsart aus abwechselnden Hebungen und Senkungen beständen und diese bei allen gleichzeitig wechselnd erfolgten, ein Zwischenstadium statt finden müfste, in welchem beide halb vollendet wären und die Wasserfläche eine Ebene darböte.

14) Hieraus wird folgende interessante Erscheinung leicht erklärbar. Wenn in einer der zu den Versuchen angewandten Wellenrinnen am einen Ende eine weite Glasröhre eingesenkt ist und man nach völliger Herstellung der Ruhe dadurch eine Welle erzeugt, dafs man eine Wassermasse schnell in der Röhre aufsaugt, ohne sie wieder sinken zu lassen, so entsteht eine bis ans Ende fortlaufende, mit dem Thale vorangehende Welle, die Bewegung der Wassertheilchen oder kleiner im Wasser schwebender Körperchen aber beginnt nach abwärts und der Wellenbewegung entgegen. Läfst man dagegen die in der Röhre aufgesogene Flüssigkeit nach wiederhergestellter Ruhe plötzlich herabsinken, so läuft der Wellenberg voran, die Wassertheilchen beginnen ihre Bewegung nach aufwärts und in der Rich-

tung der Wellenbewegung. Wenn man ferner auf einer länglichen, schwach vertieften Fläche eine Lage Quecksilber ausgiefst, und dadurch eine Welle erzeugt, dafs man in der Mitte einen Körper einsenkt, so wird von diesem Puncte aus eine Welle nach allen Seiten fortlaufen. Kommt diese Welle am Rande an, so dehnt sich die gesammte Quecksilberfläche aus und vergröfsert sich, zieht sich aber augenblicklich wieder zurück und nimmt ihre vorherige Gröfse wieder an; erregt man aber die Welle dadurch, dafs man einen in der Mitte der Metallmasse befindlichen Körper schnell wegnimmt, so tritt die entgegengesetzte Erscheinung ein, die Masse zieht sich am Rande zusammen und kehrt nachher wieder zurück.

15) Die Geschwindigkeit der Meereswellen ist zwar durch Messungen bestimmt, wie bereits erwähnt wurde[1], allein die Bedingungen, welche hierauf Einflufs haben, sind durchaus nicht zu ermitteln, weil man die ohnehin stets wechselnde Kraft des Windes ebenso, als die ungleiche Tiefe und die Beschaffenheit des Bodens zu kennen sich aufser Stande befindet. Will man daher die Ursachen kennen lernen, welche hierbei wirksam sind, und zugleich die Art und Stärke ihrer Wirksamkeit, so kann dieses nur durch Versuche geschehen, und wir verdanken es daher dem Fleifse der Gebrüder Weber, dafs sie auch diese Frage beantwortet haben. Zu diesem Ende bedienten sie sich der beiden (§. 10) beschriebenen Wellenrinnen, in denen sie vermittelst des plötzlichen Niedersinkens einer gewissen Masse der Flüssigkeit aus einer am Ende des Apparats eingetauchten Röhre Wellen erregten und die Zeit bis zu deren Ankunft am andern Ende mittelst einer Tertienuhr mafsen. Hiernach vermindert sich die Geschwindigkeit der Wellen mit abnehmender Tiefe, jedoch in einem geringeren, als dem dieser Abnahme proportionalen Verhältnisse. Diese Verminderung ist eine Folge der durch die Nähe des Bodens gestörten freien Beweglichkeit der Flüssigkeitstheilchen, der stärkeren Adhäsion und sonstiger Umstände, und zeigt sich auch im Grofsen bei den Meereswellen. Merkwürdig war das Resultat, dafs das spec. Gewicht der Flüssigkeiten auf die Geschwindigkeit der Wellen anscheinend gar keinen Einflufs hat. Diese Folgerung wurde aus Versuchen mit Kochsalzwasser,

---

1 S. Art. *Meer.* Bd. VI. S. 1743.

süfsem Wasser und Branntwein hergenommen, mit Quecksilber konnten sie nur bei geringer Tiefe angestellt werden, weil die Wandungen des Apparates dem Drucke einer tiefen Quecksilbermasse nicht widerstanden. Bei geringen, nicht über 4 Zoll hinausgehenden, Tiefen dagegen zeigten die ungleich schweren Flüssigkeiten allerdings Unterschiede, die zunächst und vorzugsweise wohl aus der verschiedenen Adhäsion der Flüssigkeiten an den Wandungen der Apparate entsprangen, zugleich aber vermuthlich auch durch die ungleiche Adhäsion der Flüssigkeitstheilchen unter sich herbeigeführt wurden; denn bei ein bis zwei Zoll Tiefe waren die durch eine gleich grofse niederfallende Flüssigkeitssäule erregten Wellen beim Quecksilber höher und schmäler, beim Wasser niedriger und breiter, beim Branntwein noch niedriger und breiter.

Die Geschwindigkeit der Wellen hängt nicht blofs von ihrer Breite ab, wie Newton, s'Gravesande, d'Alembert und Gerstner annahmen, sondern von ihrer Gröfse im Allgemeinen, also ihrer Höhe und Breite zugleich; doch scheint die Länge keinen Einflufs zu haben. Werden in ruhigem Wasser durch einen hineingeworfenen Stein Wellen erregt, so verbreiten sich diese kreisförmig, dehnen sich dabei stets mehr aus, werden also breiter, und müfsten somit auch geschwinder werden, wenn ihre Geschwindigkeit blofs von ihrer Breite abhinge; erzeugt man aber in einiger Entfernung durch einen zweiten hineingeworfenen Stein neue Wellen, so sieht man, dafs die letzteren die ersteren überholen. Hiermit übereinstimmend ist die Geschwindigkeit der Wellen um so gröfser, je stärker die sie erregenden Ursachen wirken, weil diese zugleich ihre Gröfse bedingen, denn ein gröfserer oder höher herabfallender Stein erregt gröfsere und zugleich geschwindere Wellen, als ein kleinerer und aus geringerer Höhe herabfallender; auch gewahrt man schon auf einer Quecksilberfläche das Entstehen gröfserer und schnellerer Wellen durch einen gröfseren und höher herabfallenden Tropfen dieses Metalls, als durch einen kleineren oder einen aus geringerer Höhe herabfallenden. Uebrigens vermag ein kleinerer, aber aus gröfserer Höhe herabfallender Körper gröfsere Wellen zu erzeugen, als ein gröfserer, welcher aus geringerer Höhe herabfällt; denn die Stärke des Impulses ist hierbei das Bedingende. Schreitet eine Welle zwischen parallelen Wänden fort, wobei ihre Länge unverändert

bleiben mufs, so vermindert sich ihre Höhe, ihre Breite aber nimmt zu. Sofern aber die Geschwindigkeit derselben von beiden Bedingungen zugleich abhängt, bleibt sie fast unverändert, und die Welle wird nur um so viel langsamer, als die Adhäsion an den Wandungen und der Widerstand der Luft dieses bewirkt. Um Wellen von verschiedener Länge zu erzeugen, liefsen die Gebrüder Weber ein Gefäfs anfertigen, welches die Gestalt eines Octanten hatte und durch ein eingelassenes verticales Bret in halbe und Viertel-Octanten getheilt werden konnte. Wurden dann in dem Winkel dieses Gefäfses durch eine herabsinkende Wassersäule Wellen erregt und die Zeiten ihrer Hin- und Hergänge zum Bogen und rückwärts zum Winkel mittelst der Tertienuhr gemessen, so erhielt man die Geschwindigkeiten derselben. Hieraus ergab sich, dafs sich die Geschwindigkeit und Höhe einer Welle vermindert, wenn sie beim Fortschreiten an Länge zunimmt, dafs dagegen ihre Höhe nnd Geschwindigkeit sich vergröfsert, wenn ihre Länge beim Fortschreiten sich vermindert.

16) Eine der wichtigsten Untersuchungen betrifft das Verhalten der Wellen bei ihrer Durchkreuzung, da es bekannt ist, dafs die Schallwellen sich vielfach durchkreuzen, ohne sich wechselseitig zu hindern oder aufzuheben. Die genannte kleinere Wellenrinne bot den Gebrüdern Weber die Mittel dar, die hierüber aufzuwerfenden Fragen zu beantworten.

Handelt es sich zuerst um die Veränderung der Gestalt zweier sich begegnender Wellen, so diente zu deren Bestimmung die kleine Wellenrinne, die mit Quecksilber bis zu zwei Zoll Höhe angefüllt war. An beiden Enden wurden gleichzeitig durch das Herabsinken einer Masse Quecksilber Wellen erregt, die sich daher in der Mitte begegnen mufsten. Die Höhe der Wellen war dadurch kenntlich gemacht, dafs sie den Staub von der eingetauchten bestaubten Glasscheibe bis zur Höhe der Wellengrenze weggewischt hatten; in der Mitte der hierdurch erzeugten geraden Linie erhob sich aber das Segment einer dem Kreise sehr nahe kommenden Curve bis etwa zur Hälfte der von den einzelnen Wellen erreichten Höhe. Betrug aber die Höhe des Quecksilbers im Apparate nur einen Zoll, und wurden insbesondere die Wellen durch höhere, in den Röhren an beiden Enden aufgesogene und plötzlich wieder herabsinkende Quecksilbersäulen erzeugt, so bildeten sich durch ihre Verei-

nigung höhere und unregelmäſsig gekrümmte Erhebungen. War der Apparat zwei Zoll hoch mit Wasser gefüllt, und wurden die Wellen durch das Herabsinken von 6 Zoll hohen Wassersäulen an beiden Enden erzeugt, so verhielt sich die Höhe der einzelnen Wellen zu der der vereinten, wie 1 zu 1,79. Im Augenblicke des Zusammenfallens zweier Wellen erzeugen diese also einen beträchtlich höheren Wellenberg. Die so erzeugten höheren Wellenberge trennen sich sofort wieder in zwei Wellen, die nach entgegengesetzten Enden fortlaufen und sich stets weiter von einander entfernen. Hierbei sinkt der entstandene hohe Wellenberg nach beiden Seiten nieder und bringt auf jeder Seite seinen Fuſs zum Steigen, es bildet sich hinter dem neuen, hierdurch entstandenen, Wellenberge ein Wellenthal, und der bloſse Anschein läſst daher nicht unterscheiden, ob die beiden Wellenberge mit ihren Wellenthälern gegen einander gestoſsen sind und von einander abprallend sich rückwärts bewegen, oder ob beide durch einander hindurchgegangen sich in der anfänglichen Richtung weiter bewegen. In der That hat es das Ansehen, als ob beide Wellen ungestört durch einander gegangen wären. Ging vor dem Zusammentreffen der Wellenberg voran, so behielt auch die Welle, welche nach dem Zusammenstoſsen in derselben Richtung fortgeht, diese Gestalt; bildeten aber die zusammenstoſsenden Wellen Thäler, denen die Berge folgten, so fand dasselbe auch bei den nach dem Zusammenstoſsen in derselben Richtung fortlaufenden Wellen statt. War der eine der zusammengestoſsenen Wellenberge höher als der andere, so verhielten sie sich nach dem Zusammenstoſsen so, als ob jeder derselben ungestört seinen Weg fortgesetzt hätte. Es hatte somit völlig das Ansehen, als ob beide Wellenberge ungestört durch einander hindurchgegangen wären.

17) Da die Wellenbewegung hauptsächlich auf der inneren Bewegung der Flüssigkeitstheilchen beruhet, so verdiente diese bei zusammenstoſsenden Wellen vorzugsweise untersucht zu werden, wenn es um die Aufklärung des hierbei statt findenden Verhaltens zu thun war. Sofern die einzelnen Theilchen der Flüssigkeiten kreisförmige oder genauer elliptische Bahnen beschreiben, so lieſs sich schon im voraus vermuthen, daſs durch das Zusammenstoſsen zweier Wellen diese in horizontaler Richtung gestreckten Bahnen sich in der verticalen mehr verlängern

würden, und dieses fanden auch die Gebrüder WEBER durch ihre Versuche bestätigt. Als sie die kleine Wellenrinne zwei Zoll hoch mit Wasser füllten, an beiden Enden durch gleichzeitiges Herabfallen einer 6 Zoll hohen Wassersäule Wellen erzeugten, die in der Mitte zusammenstiefsen, und die Bewegung der kleinen im Wasser schwimmenden Körperchen durch ein Mikroskop beobachteten, sahen sie diese unter der Spitze des Fig. 99. erhöheten Wellenberges bei a in verticaler Richtung auf und ab sich bewegen, zu beiden Seiten aber bei b und c, d und e, f und g wurde ihre Richtung zunehmend schräger. Wo also beide Wellen im höchsten Puncte zusammentrafen, war die horizontale Richtung der Theilchen völlig aufgehoben, von hier an zunehmend weniger, bis endlich die gewöhnlichen Bahnen wieder hergestellt wurden. Sofern also durch das Zusammentreffen beider Wellen die horizontale Bewegung der Flüssigkeitstheilchen beschränkt wird, mufs die verticale verstärkt werden und die Welle dadurch eine höhere und spitzere Gestalt annehmen. Die Wellen gehen daher weder durch einander hindurch, noch prallen sie von einander ab, sondern die Ursache der veränderten Gestalt liegt in der modificirten Bewegung der Flüssigkeitstheilchen. Dabei ist zu bemerken, dafs das Zusammenstofsen beider Wellen nicht blofs ein einziges Mal statt findet, sondern es wiederholt sich mehrmals, indem die Theilchen sich in den angegebenen Richtungen nicht ein einziges Mal bewegen, sondern diese Bewegung eine Zeit lang beibehalten.

18) Eine dritte Frage betrifft den Einflufs des Zusammenstofsens der Wellen auf die Geschwindigkeit ihrer Bewegung, ob nämlich dadurch eine Beschleunigung oder Verzögerung herbeigeführt wird. Um hierüber Auskunft zu erhalten, mafsen die Gebrüder WEBER mittelst einer Tertienuhr die Zeit, welche die freien und die zusammenstofsenden Wellen gebrauchten, um vom einen Ende der Wellenrinne zum andern zu gelangen, und fanden dadurch im Mittel aus neun Versuchen die Dauer der ersten Bewegung = 2 Sec. 17 Tertien, die Dauer der zweiten aber 2 Sec. 24 Tertien, woraus also eine Verzögerung von 7 Tertien hervorgeht. Der Unterschied ist unbedeutend und beträgt nur etwa 0,05 des Ganzen; es lohnt sich aber dennoch der Mühe, die Ursache desselben aufzusuchen. Man könnte vermuthen, die Verzögerung sey eine Folge der langsameren Wellenbewegung nach dem Zusammenstofsen, allein diese Hy-

pothese ist sehr unwahrscheinlich, denn hiernach müfsten die wiederholt zusammenstofsenden Wellen zunehmend langsamer werden, was der gemeinen Beobachtung nicht entgehen könnte, da im Versuche nicht eine einzige Welle, sondern mehrere hinter einander herlaufende Wellen erzeugt wurden, die in dem nämlichen Puncte zusammenstiefsen. Bei weitem wahrscheinlicher und aus der Natur der Sache entnommen ist die Erklärung, wonach die Wellen um so viel verzögert werden, als die Störung oder partielle Aufhebung ihrer Bewegung in horizontaler Richtung in Folge des Zusammenstofsens beträgt, denn dieses steht mit dem eben beschriebenen Verhalten vollkommen im Einklange. Wir können uns vorstellen, dafs durch das Zusammenstofsen der Wellen wenigstens eine der Bahnen, worin sich die Flüssigkeitstheilchen beim Fortgange der Wellen bewegen, aus der kreisförmigen in die verticale übergehe, und die Welle mufs daher um so viel in ihrem Fortgange verzögert werden, als die Zeit dieser verticalen Bewegung der Flüssigkeitstheilchen beträgt; diese Zeit wird aber noch dadurch etwas vergröfsert, dafs sich die elliptischen Bahnen der Flüssigkeitstheilchen erst allmälig wieder herstellen.

19) Die Gebrüder Weber haben auch über das *Zurückprallen* der Wellen oder ihre Zurückwerfung von einer hindernden verticalen Fläche, auf welche sie bei ihrer Bewegung in perpendiculärer Richtung stofsen, ausführliche Untersuchungen angestellt, welche folgende wesentliche Resultate geben. Zuerst darf man sich das Anprallen nicht dem ähnlich vorstellen, wie es bei einer elastischen Kugel statt findet, bei welcher ihre beiden Hälften nach dem Anstofsen ihre gegenseitige Lage beibehalten, statt dafs der Wellenberg und das Wellenthal in ihrer Lage umgekehrt werden, indem sie während der Zurückwerfung gleichsam durch einander hindurch gehen. Das hierbei statt findende Verhalten, je nachdem die Welle mit ihrem Thale oder ihrem Berge aufstöfst, wie dieses bei den Versuchen in der Wellenrinne beobachtet wurde, läfst sich für die verschiedenen Stadien anschaulich darstellen. Es sey hierfür
Fig. allgemein g f die Oberfläche der Flüssigkeit; k i die zurück-
100. werfende Fläche; a b c d e eine gegen die zurückwerfende Ebene senkrecht anlaufende Welle, so zeigen die Nummern 1 bis 5 die Verwandlungen der Gestalt des Wellenberges und Wellenthales für gleiche Zeiten, die so grofs sind, dafs während der-

selben die ganze Welle um ein Viertel ihrer Breite weiter rückt. Nach 1 geht der Wellenberg c d e voran, das Wellenthal a b c folgt ihm, und der Anfangspunct des Wellenberges erreicht die zurückstofsende Ebene. Nach 2 ist die hintere Hälfte des Wellenberges mit der vorderen zusammengefallen, der Wellenberg ist dadurch auf die Hälfte seiner Breite gebracht, hat aber fast die doppelte Höhe erreicht, während das Wellenthal unverändert um die Hälfte seiner Breite vorgerückt ist. Nach 3 ist der Wellenberg seiner ganzen Breite nach bereits zurückgegangen, er würde also seine frühere Gestalt wieder erhalten haben, wenn nicht gleichzeitig das Wellenthal ihn ausgefüllt hätte, wodurch für diesen Zeitraum die ebene Fläche eintreten mufs. Nach 4 haben sich durch das Fortrücken des Wellenberges in entgegengesetzter Richtung und des Wellenthales in der ursprünglichen beide wieder getrennt, das Wellenthal ist zugleich von der Wand i k zurückgestofsen, und daher fast doppelt so tief geworden, als es anfangs war. Nach 5 ist die Abprallung vollendet, der Wellenberg läuft wieder voraus und das Wellenthal hinter ihm her, beide in entgegengesetzter Richtung nach g.

Am belehrendsten und interessantesten hierbei ist die sich bildende Interferenz, die man auch ohne künstliche Messung mit blofsen Augen beobachten kann. Beginnt der an der zurückwerfenden Ebene angekommene Wellenberg durch das Wellenthal zurückzugehen, so macht er eine Bewegung, welche die Gebrüder Weber mit der Umdrehung eines zweiarmigen Hebels um seinen Unterstützungspunct vergleichen. Der ruhige Punct der Oberfläche, worin die Flüssigkeit sich weder hob noch senkte, lag ungefähr 8 Zoll von der zurückwerfenden Ebene entfernt, und so wie ein zweiarmiger Hebel bei seiner Drehung in eine Lage kommt, dafs er vollkommen horizontal liegt, so kam auch die Oberfläche der Flüssigkeit für ein Moment an der Stelle, wo der Wellenberg und das Wellenthal durch einander gingen, zur vollkommen ebenen Lage. Die an der Oberfläche der Flüssigkeit schwebenden Theilchen in der Nähe der zurückwerfenden Ebene, die sich während der Zurückwerfung der Wellen aufwärts und abwärts bewegten, bewegten sich am Orte der Interferenz aufwärts, dann etwas weniges abwärts, und dann in derselben Höhe beharrend etwas in horizontaler Ebene hin und her, bis sie erst später ebenso tief

herabsanken, als andere, nicht in der Interferenz liegende Theilchen gleich nach ihrem Aufsteigen wieder herabgesunken waren. Bei anderen Theilchen, die nicht in der Mitte der Interferenz lagen, war diese Verzögerung um so weniger merklich, je weiter sie von diesem Mittelpuncte abstanden. Die Entfernung des Interferenzpunctes von der zurückwerfenden Ebene ki beträgt genau den vierten Theil der Wellenbreite, und kann daher benutzt werden, um die Breite der ganzen Welle zu messen, vorausgesetzt, dafs Wellenberg und Wellenthal gleich breit sind, was zwar bei der ersten erzeugten Welle nicht in ganzer Strenge, wohl aber bei den nachfolgenden der Fall ist. Dieses Verhalten hängt genau zusammen mit der Bewegung der Flüssigkeitstheilchen, deren Bahnen beim Anprallen der Wellen mehr und mehr von ihrer Breite verlieren, und sich einer verticalen geraden Linie nähern, in welche sie ganz in der Nähe der zurückstofsenden Ebene übergehen. Hierbei macht es keinen Unterschied, ob der Wellenberg oder das Wellenthal vorausgeht, aufser dafs die Theilchen der Flüssigkeit, wenn das Wellenthal vorausgeht, sich zuerst mehr oder weniger abwärts bewegen, und dann wieder aufsteigen, wenn aber der Wellenberg vorausgeht, zuerst senkrecht aufsteigen und dann wieder in derselben Richtung herabsinken. Mit zunehmender Entfernung von der zurückstofsenden Ebene werden die Bahnen der einzelnen Flüssigkeitstheilchen stets schiefer, indem der obere Theil der Ebene zugewandt, der untere aber davon abgewandt ist. Aufserdem liegen die Bahnen der senkrecht unter den oberen befindlichen Theilchen desto schiefer, je näher sie dem Boden sind. Der Vorgang bei der Zurückwerfung einer Welle stimmt also genau mit demjenigen überein, welcher beim Zusammenstofsen zweier Wellen statt findet.

20) Da die Wellenbewegung nicht blofs an der Oberfläche der Flüssigkeiten statt findet, sondern auch bis zu einiger Tiefe herabgeht, so kann eine nicht bis ganz auf den Boden hinabgehende, sondern nur bis zu einer gewissen Tiefe hinabreichende Scheidewand diese Wellenbewegung nicht gänzlich abändern, sondern sie mufs die Welle spalten und die Bewegung der tieferen Theile noch hinter der trennenden Ebene fortgehn lassen. Manche Beobachter glaubten bemerkt zu haben, dafs dieses nicht der Fall sey, die Welle sich vielmehr blofs auf der Oberfläche bewege, und selbst nicht unter einer nur wenige

Zoll eingetauchten Fläche durchgehe. Ist in einer Flüssigkeit ein Bret oder ein Balken nur einige Zoll tief eingetaucht, und erregt ein auf der einen Seite desselben hineingeworfener Körper eine Welle, so sieht man diese abprallen, aber nicht unten durchgehen, was jedoch die Gebrüder Weber davon ableiten, dafs bei so kleinen Wellen in einer tiefen Flüssigkeit die Wellenbewegung schon in geringer Tiefe sehr unbedeutend wird und daher die auf der andern Seite erzeugten Wellen wegen ihrer grofsen Breite nicht leicht wahrnehmbar sind. Auch hierüber mufsten directe Versuche entscheiden. Zu diesem Ende wurde die kleine Wellenrinne bis zu 6 Zoll Höhe mit Wasser gefüllt, in der Mitte ein genau passendes Bret vertical bis zu ungleichen Tiefen hinabgesenkt, am einen Ende eine Welle durch das Herabsinken einer 4 Z. 5,7 Lin. hohen Wassersäule erregt, und mittelst eines feinen Federcirkels die Höhe der erregten Wellen vor und hinter der Scheidewand gemessen. Die folgende Tabelle zeigt die erhaltenen Resultate:

Tiefe der Scheidewand.	Höhe der erregten Wellen dicht vor der Scheidew.	dicht hinter der Scheidew.	am andern Ende d. Rinne.	am Anfange der Rinne.
1 Zoll	0,94 Lin.	0,74 Lin.	1,3 Lin.	0,35 Lin.
2 —	1,00 —	0,65 —	1,1 —	0,50 —
3 —	1,03 —	0,64 —	1,0 —	0,60 —
4 —	1,18 —	0,50 —	0,8 —	0,70 —
5 —	1,33 —	0,38 —	0,55 —	0,87 —

Die in der letzten Columne angegebenen Höhen waren diejenigen, welche die nach dem Anprallen wieder zurückkehrenden Wellen erreichten, und dafs diese sich so niedrig zeigten, war vermuthlich die Folge der Störung, welche diese durch die der ersten nachfolgenden Wellen erlitten. Die von der Scheidewand gemessenen Höhen in der zweiten Columne mufsten wohl höher seyn, als die unmittelbar hinter derselben, denn sie wurden erzeugt durch den von der Scheidewand zurückgeworfenen und den noch nicht unter ihr durchgegangenen Theil der Welle. Beachtenswerth ist aber der Umstand, dafs bei geringerer Tiefe der eingesenkten Scheidewand die am Ende der Rinne vorhandenen, unter dieser durchgegangenen, Wellen sich höher zeigten, als die unmittelbar vor der Scheidewand gemessenen, bei gröfserer Tiefe der Einsenkung aber hinter diesen an Höhe zurückblieben.

21) Ein grofser Theil der Versuche der Gebrüder Weber bezieht sich auf diejenigen Erscheinungen, welche die Wellen darbieten, wenn sie in schiefer Richtung auf eine Widerstand leistende Fläche aufstofsen. Sie wurden vorzugsweise mit elliptischen und kreisrunden Gefäfsen angestellt, in denen sich Quecksilber befand, auf dessen ebene Fläche theils in der Mitte, theils in dem einen Brennpuncte der Ellipse ein einzelner oder wiederholt gleich nach einander mehrere Quecksilbertropfen herabfielen. Hierdurch entstehen die höchst interessanten, aber auch sehr complicirten, Figuren, welche man so oft und so leicht beim Herabtröpfeln des Quecksilbers auf eine ebene und blanke Fläche dieses Metalles wahrnimmt und welche hier im Einzelnen gründlich untersucht werden. Inzwischen beruhen diese Erscheinungen auf sehr zusammengesetzten Bedingungen, die sich selten vereinigt finden; es scheint daher angemessener, diejenigen, welche sich mit ihnen genauer bekannt zu machen wünschen, auf das Werk selbst und die darin gegebenen genauen Zeichnungen zu verweisen, da die Aufgabe im Ganzen nur ein specielles Interesse hat. Hier werden einige allgemeine Bemerkungen genügen.

Die von schiefen Flächen zurückgeworfenen Wellen sind zwar nicht als elastische Körper zu betrachten, sondern werden blofs durch die innere Bewegung der Flüssigkeitstheilchen bedingt, dennoch aber gilt von ihnen das allgemeine Gesetz, dafs der Ausfallswinkel dem Einfallswinkel gleich ist. Allein blofs die vollkommen kreisförmigen Wellen, die in allen ihren Abschnitten gleich hoch und gleich breit sind, schreiten so fort, dafs sie ihre Gestalt stets beibehalten, die andern ändern ihre Gestalt fortwährend, und das Gesetz der Gleichheit des Einfalls- und Ausfalls-Winkels kann nur für eine sehr kleine Entfernung von der zurückwerfenden Ebene mit einiger Genauigkeit bestimmt werden. Die beiden vorzugsweise untersuchten Fälle sind zuerst der, wenn eine in der Mitte eines kreisförmigen Gefäfses erzeugte Welle sich in einem Kreise nach allen Richtungen ausbreitet, mithin gleichzeitig an die Wandungen anstöfst und kreisförmig davon zurückgeworfen wird, der zweite, für die Akustik wegen des ähnlichen Verhaltens sehr wichtige Fall ist der, wenn in dem einen Brennpuncte eines elliptischen Gefäfses eine Welle erzeugt und, selbst kreisförmig gebildet, von der elliptischen Wand kreisförmig zurückgeworfen wird. Die so

zurückgeworfene Welle stellt eine gleich hohe und gleich breite kreisförmige Welle dar, deren Mittelpunct der zweite Brennpunct derEllipse ist, in welchem sie sich daher concentrirt und hierdurch einen Kegel von beträchtlicher Höhe bildet, der sich von neuem in eine kreisförmige Welle verwandelt, welche dann durch die Zurückstofsung von der elliptischen Wandung des Gefäfses wieder in den ersten Brennpunct gelangt. Dieser Wechsel kehrt zu wiederholten Malen wieder. Die hierüber angestellten Versuche gelingen zwar nicht allezeit vollkommen genau, allein die Abweichungen sind nicht so grofs, dafs man das Gesetz nicht dennoch als gültig anerkennen sollte.

22) Die bisher beschriebenen Wellen sind fortschreitende; es giebt aber auch *stehende* in Flüssigkeiten, und es ist sehr verdienstlich, dafs die Gebrüder Weber auch diese genauer untersucht haben, da hierdurch weiteres Licht über die stehenden Schwingungen tönender Körper verbreitet wird. Um diese zu erzeugen, schoben sie in einen viereckigen Kasten aaaa ein Bret b mit der unteren zugeschärften Seite so ein, dafs es vermöge der etwas gröfseren Länge dieser seiner Seite blofs unten an seinen beiden Enden festsafs, von hier an aber bis obenhin zugeschärft war, und sich um eine vom einen bis zum andern eingeklemmten Theile fortlaufende Axe bewegen liefs. Ist der Kasten mit einer Flüssigkeit, es sey diese Wasser, gefüllt, und bewegt man das Bret hin und her, so bilden sich neben demselben Wellen, die mit ihm parallel fortlaufen und von den Wandungen des Kastens zurückgeworfen werden. Setzt man die Bewegung des Bretchens in einem solchen Tacte fort, dafs stets gleich weit entfernte Wellen erzeugt werden, so hört plötzlich die Fortbewegung der Wellen auf, und die Oberfläche zeigt eine gewisse Anzahl regelmäfsig gestellter kegelförmiger Erhabenheiten, zwischen denen ebenso regelmäfsig eine gewisse Anzahl trichterförmiger Vertiefungen liegt. Die kegelförmigen Erhabenheiten schreiten nicht mehr horizontal fort, sondern bewegen sich in verticaler Richtung aufwärts, sinken alsdann wieder herab, und lassen Vertiefungen zurück, die sich durch eine gleiche verticale Bewegung in Erhabenheiten verwandeln. Im Allgemeinen ist die Oberfläche der Flüssigkeit in regelmäfsige Abtheilungen getheilt, von denen die benachbarten stets isochronisch schwingen. Das Bret giebt dem Ge-

Fig. 101.

fühle den Tact an, in welchem es bewegt werden muſs, um diesen Wechsel fortdauernd zu unterhalten.

23) Auſser diesen zusammengesetzteren, stehenden Schwingungen giebt es auch einfachere, die jedoch gleichfalls unter die stehenden zu zählen sind, weil sie ihren Ort nicht verändern oder nicht in horizontaler Richtung fortschreiten. Solche kann man erregen, wenn man in einem länglichen schmalen
Fig. Kasten ein schmales Bretchen d so hinabsenkt, daſs es den
102. Boden berührt, an die Seitenwandungen aber nur wenig anschlieſst, so daſs es sich unten feststehend oben hin und her bewegen läſst. Geschieht diese Bewegung im erforderlichen Tacte, damit die Welle diejenige Breite erhält, vermöge welcher die Breite der ganzen Welle gerade der Länge des Kastens gleichkommt, so wechselt die Oberfläche des Wassers die Gestalt efg und ikl, und diese Bewegung dauert fort, selbst wenn man später das Bretchen nicht mehr bewegt. Um die Erzeugung dieser Wellen aus den Gesetzen der Durchkreuzung und Reflexion der fortschreitenden Wellen abzuleiten, müssen wir auch dasjenige aufnehmen, was Weber zur Erklärung die-
Fig. ses Verhaltens aufgestellt hat. Es sey also AB die horizontale
103. Oberfläche des Wassers im Kasten, und man denke sich die zur Erzeugung einer ganzen Welle erforderliche Zeit in vier Abschnitte getheilt, so daſs jeder Zeittheil der Bildung einer halben Welle entspricht. Im ersten Zeitraume (1) entsteht die Hälfte des Wellenberges ab; im zweiten (2) schreitet dieser bis c fort, während die fortgesetzte Bewegung des Bretchens die zweite Hälfte desselben erregt; im dritten (3) schreitet er bis d fort, und hinter ihm entsteht die eine Hälfte des Wellenthales ab; im vierten (4) rückt der Wellenberg edc bis e fort, an die erste Hälfte des Wellenthales bc hat sich aber durch weitere Bewegung des Bretchens die zweite ba geschlossen, und in den vier Zeiträumen ist also eine vollständige Welle entstanden, deren Breite gerade die Länge des Kästchens einnimmt. Wird die Bewegung so fortgesetzt, so ist im fünften Zeitraume (5) der Wellenberg an die zurückstoſsende Ebene A angeprallt, hat sich dadurch fast zur doppelten Höhe erhoben, das Wellenthal ist bis bcd fortgerückt, und zu ihm ist die Hälfte eines neu erregten Wellenberges ab hinzugekommen; im sechsten Zeitraume (6) ist der Wellenberg ed niedriger geworden und bis c in umgekehrter Richtung fortgeschrit-

ten, oder vielmehr es ist ein umgekehrter Wellenberg entstanden, und da zugleich das ihm zugehörige Wellenthal d c b gleichfalls bis e d c fortgerückt ist, so vernichten sich beide durch Interferenz auf einen Augenblick, und es entsteht eine Ebene; unterdefs aber rückt der halbe Wellenberg a b nach b c fort, es wird die zweite Hälfte desselben a b gebildet, und es ist der ganze Wellenberg a b c vorhanden. Im siebenten Zeitraume (7) stellt sich das halbe Wellenthal e d wieder her und erlangt durch das Anprallen an der Wand A fast die doppelte Tiefe bei halber Breite, sofern beide Senkungen zusammenfallen; der nach B hin vorrückende Wellenberg fällt mit dem nach A fortschreitenden zusammen, und beide vereint geben den fast doppelt so hohen b c d, während wieder ein halbes Wellenthal a b gebildet wird. Im achten Zeitraume (8) verfolgt der von e d c nach d c b gekommene Wellenberg seinen Weg nach c b a, der von c b a nach d c b gekommene seinen Weg nach e d c, der vereinte hohe Wellenberg d c b trennt sich in die beiden nach entgegengesetzten Richtungen fortschreitenden c b a und e d c, und weil das gleichzeitig von A zurückgeworfene Wellenthal e d sich bis e d c ausbreitet, so fällt es mit dem Wellenberge e d c zusammen, beide vernichten sich durch Interferenz, und es entsteht augenblicklich eine Ebene. Während dieses an der einen Seite geschieht, rückt auch das halbe Thal b a nach c b vor, in b a bildet sich durch Erregung die zweite Hälfte des Thals, und indem also auch von hier aus das Wellenthal c b a mit dem Wellenberge c b a zusammenfällt, vernichten sich beide durch Interferenz, und die ganze Fläche wird für einen Augenblick eben. Im neunten Zeitraume (9) entstehn die Wellen durch die beschleunigte Bewegung bei a b und e d nach aufwärts und zwischen d c b nach abwärts wieder, die beiden Thäler c b a und e d c vereinigen sich in d c b zu einem einzigen fast doppelt so tiefen, der Wellenberg e d c prallt an A, der Wellenberg a b c an B ab, und beide werden hierbei fast doppelt so hoch und halb so breit. Jetzt ist die stehende Schwingung vollständig hergestellt und dauert von selbst eine Zeit lang fort; die schwingenden Theile schwingen nach entgegengesetzten Seiten und halten sich das Gleichgewicht. Im zehnten Zeitraume (10) gehn die beiden in d c b vereinigt gewesenen Wellenthäler durch einander, das eine nach e d c, das andere nach c b a, und da sich gleichzeitig der bei B abgeprallte

Wellenberg b a nach c b a ausbreitet und mit dem Wellenthale c b a zusammenfällt, der von A abgeprallte Wellenberg e d aber nach e d c sich ausbreitet und mit dem Wellenthale e d c zusammenfällt, so vernichten sich beide durch Interferenz, und es entsteht abermals eine ebene Fläche. Im elften Zeitraume (11) vereinigen sich die beiden Wellenberge c b a und e d c in d c b zu einem Wellenberge von fast doppelter Höhe, das Wellenthal e d c stöſst in A an, wird halb so breit und fast doppelt so hoch, das Wellenthal c b a stöſst gegen B, wird dadurch gleichfalls halb so breit und fast doppelt so tief, und somit wiederholen sich von da an stets die letzten drei Lagen. Im zwölften Zeitraume tritt die 10te, im dreizehnten die 9te, im vierzehnten die 10te, im funfzehnten die 11te Lage wieder ein, und so fort, bis durch allmälige Abnahme der Stillstand herbeigeführt wird. Es läſst sich leicht zeigen, daſs ein gleiches oder ähnliches, mindestens dem Wesen nach ganz übereinstimmendes Verhalten eintritt, wenn die Länge des Gefäſses und die Schnelligkeit der Bewegung das Entstehen einer ganzen und einer halben, oder zwei ganzer Wellen gestattet u. s. w. Auch die Schwankung einer halben stehenden Welle läſst sich erzeugen, und zwar sehr leicht, wenn die Hälfte des Wellenberges und des Wellenthales abwechselnd zum Vorschein kommen. Sie zeigen sich in den Schwankungen einer Flüssigkeit
Fig. 104. in einem Gefäſse, indem die Oberfläche zwischen den Lagen a b und c d wechselt.

24) Was hier von der Flüssigkeit in langen, schmalen Gefäſsen nachgewiesen ist, findet auch Anwendung auf viereckige gleichseitige, und wenn die in den ersteren erzeugten mit den Oscillationen tönender Stäbe vergleichbar sind, so lassen sich die letzteren mit denen der Scheiben vergleichen. Wenn aber mehrere Wellen und in verschiedenen Richtungen einander begegnen, so wird die Aufgabe zusammengesetzter, und es entstehen dann die bereits (§. 22) im Allgemeinen erwähnten Erhabenheiten und Vertiefungen auf der ebenen Wasserfläche. Wellen dieser Art lassen sich auch hervorbringen, wenn man einen Körper im schnellen Wechsel in die Flüssigkeit eintaucht, die sich in einem Gefäſse befindet. Ist z. B. letzteres ein viereckiges, einige Zoll tief mit Quecksilber gefülltes, und wird der Finger im gehörig schnellen, regelmäſsigen Tacte eingetaucht und wieder herausgezogen, so entsteht eine regel-

mäſsige Figur aus Erhabenheiten und Vertiefungen, kegelförmigen Wellenbergen und Wellenthälern zusammengesetzt, wie die Zeichnung sie angiebt, worin die kleinen Kreise die kegelförmigen Erhabenheiten, die Kreuzchen aber Vertiefungen bezeichnen, die an den nämlichen Stellen regelmäſsig wechseln. Solche stehende Wellen werden auch erzeugt, wenn man das regelmäſsig gestaltete Gefäſs auf eine elastische Unterlage stellt, z. B. auf das Rohrgeflecht eines Stuhles, und durch regelmäſsig wiederholte Stöſse von unten erschüttert. Die hierdurch erzeugten, von den Wandungen zurückgestoſsenen Wellen erzeugen dann durch ihre Vereinigung und Durchkreuzung die mannigfaltigsten Figuren, die der Hauptsache nach aus den angegebenen kegelförmigen Erhabenheiten und Vertiefungen bestehn, zwischen denen noch eine Menge kleiner, sich vielfach durchkreuzender Wellen vorhanden seyn kann. Bedient man sich eines quadratischen Gefäſses mit Quecksilber, und gelingt es, durch die regelmäſsigen Stöſse nach einander gleichzeitig an allen vier Seiten des Gefäſses Wellen zu erregen, deren Breite der halben Fläche des Gefäſses gleich kommt, so vermag man die in den acht Quadraten gezeichneten Figuren zu erhalten. Die ersten Wellenberge an allen vier Seiten sind darin mit A, die zugehörigen Wellenthäler mit a, die zweiten Wellenberge mit B und ihre Wellenthäler mit b, die dritten Wellenberge mit C und ihre Wellenthäler mit c bezeichnet, um in allen acht Quadraten den Fortgang und die Begegnung der Wellen ohne Erklärung zu verstehn. Die Zeit, in welcher eine Welle um den Raum ihrer Breite fortschreitet, ist in vier Theile getheilt, und jedes der acht Quadrate bezeichnet einen solchen Zeittheil. Beim Versuche selbst ist interessant zu sehn, wie die ganze Fläche des Quecksilbers anfänglich mit einer groſsen Zahl gröſserer und kleinerer sich durchkreuzender Wellen, welche regelmäſsige Vierecke bilden, bedeckt ist, die sich an den Stellen der Durchkreuzung mehr erheben und vertiefen, wie dann aber plötzlich diese alle verschwinden, und an ihre Stelle die kegelförmigen Erhabenheiten und Vertiefungen treten, die nicht mehr fortschreiten, sondern abwechselnd aufsteigen und niedersinken.

Fig. 105.

Fig. 106.

Welche Bewegung die Flüssigkeitstheilchen in diesen Wellen annehmen, läſst sich im Allgemeinen leicht bestimmen, wenn man berücksichtigt, daſs ihre Bildung auf einer regel-

mäfsigen Durchkreuzung der Wellen beruht. Hiernach bewegen sich also die Flüssigkeitstheilchen nicht in kreisförmigen und elliptischen Bahnen, sondern diese verlieren zunehmend mehr von ihrem horizontalen Durchmesser, während ihr verticaler wächst, bis die Bahn eine geradlinige wird, wie dieses oben (§. 17 Fig. 99) bereits erläutert worden ist. Die der Axe der entstehenden Kegel nahe liegenden Theile bewegen sich genau in verticaler Richtung, bei den sich mehr von ihnen entfernenden werden die Bahnen gekrümmter, ohne dafs jedoch die Gebrüder Weber diese Krümmungen durch Messungen genau zu bestimmen vermochten.

Stehende Schwingungen in Flüssigkeiten werden nicht ganz selten beobachtet. Ob sie auf dem Meere vorkommen, dürfte zweifelhaft seyn, da die vorzüglichste Ursache ihres Entstehens, nämlich das Zurückprallen von den einschliefsenden Wandungen, fehlt, wiederholte Durchkreuzungen aber wohl nicht so regelmäfsig auf einander folgen dürften, als zu ihrer Entstehung erfordert wird. Daher möchte ich auch die von James Horsburgh [1] im chinesischen Meere durch einen Typhon erzeugten nicht für stehende Wellen halten, obgleich es von ihnen heifst, dafs sie nach allen Seiten liefen, und das Aussehn von hohen Bergen und Pyramiden erhielten, welche eine in die andere mit grofser Gewalt einbrachen. Häufig dagegen nimmt man sie wahr in Gefäfsen mit Flüssigkeiten gefüllt, wenn diese bewegt werden, in welchem Falle dann sich kegelförmige Erhabenheiten bilden, deren Spitzen oft bedeutend hoch empor geworfen werden, welches einige Aehnlichkeit damit hat, dafs ein Stein oder auch selbst nur ein Wassertropfen, wenn man ihn aus einiger Höhe auf eine ebene Wasserfläche fallen läfst, das Aufspringen eines Tropfens bis zu beträchtlicher Höhe veranlafst. Die Arbeiter pflegen daher beim Tragen oder Fahren der Wassergefäfse ein Stück Holz, ein leichtes hölzernes Kreuz oder einen Strohkranz auf der Wasserfläche schwimmen zu lassen, um dadurch die Regelmäfsigkeit der Schwankungen zu stören und die Bildung der stehenden Wellen zu verhüten. Weber bemerkt, dafs selbst Flüssigkeiten, in denen sich nicht leicht fortlaufende Wellen bilden, zur Erzeugung der stehenden sehr geeignet sind, z. B. Rübsamenöl,

1 Nicholson's Journ. T. XV. G. XXXII. 408.

welches in einem Gefäfse erschüttert leicht die konischen Wellenberge bildet, von deren Spitzen Tropfen bis zu bedeutenden Höhen empor springen; zu Versuchen ist aber Quecksilber bei weitem am geeignetsten.

C. Theorie der Wellenbewegung.

a) Allgemeine Bemerkungen.

25) Die Flüssigkeiten sind nicht zusammendrückbar, dabei aber ihre Bestandtheilchen höchst beweglich; beide Eigenschaften sind sehr wesentlich zur Erklärung der Wellenbewegung. Wird eine Flüssigkeit gestofsen, so pflanzt sich, in Folge der ersten Eigenschaft, dieser Stofs nach allen Seiten auf eine gewisse Weise sehr schnell fort, die sich auch namentlich in der Fortpflanzung des Schalles zeigt, ohne dafs die Theilchen der Flüssigkeit selbst in Bewegung kommen und ihre gegenseitige Lage ändern; es entstehn also hierdurch keine eigentlichen Wellen. Um dieses factisch zu beweisen, füllten die Gebrüder Weber eine zwölf Fufs lange hölzerne Röhre mit Wasser, spannten dasselbe dadurch, dafs an beiden Enden Blasen übergebunden waren, und wenn dann die eine von diesen gestofsen wurde, so empfand die an die andere gelegte Hand diesen Stofs instantan ohne mefsbaren Zeitverlust. Sobald aber durch einen Stofs oder eine sonstige Ursache eine Bewegung der Flüssigkeitstheilchen erzeugt ist, theilt diese sich den angrenzenden Theilchen mit und setzt diese, Beweglichkeit derselben vorausgesetzt, gleichfalls in Bewegung, die sich dann aber blofs den benachbarten Theilen und nach einiger Zeit den entfernteren mittheilt. Um den Fortgang dieser Bewegung zu prüfen, versahn die Gebrüder Weber die fest auf einander gebundenen, einen Zoll dicken und zwei Fufs langen Leisten $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$ inwendig mit einer Rinne, füllten diese mit Fig. 107. Quecksilber und bohrten die Löcher a, b, c, d, e, f, g, h, i hinein, in deren erstes die Glasröhre a' hineingesenkt wurde. Durch kleine Leisten war dafür gesorgt, dafs das aus jedem Loche ausfliefsende Quecksilber in ein besonderes Gefäfs gelangte. Demnächst sog einer der Beobachter eine Quecksilbersäule bis etwa einen Zoll hoch in der Glasröhre empor, hielt sie fest, bis das Quecksilber in allen Löchern so hoch wieder

nachgefüllt war, dafs es über denselben die gröfste Höhe eines halben Tropfens erreicht hatte, und liefs sie dann herabsinken. Hätte sich der hierdurch erzeugte Stofs momentan durch die ganze Länge des Quecksilbers in der Rinne gleichmäfsig verbreitet, so mufste aus allen Löchern eine gleiche Menge Quecksilber in die Gefäfse abfliefsen, was jedoch nicht geschah, indem vielmehr nur aus den fünf zunächst der Röhre a' befindlichen, aus den drei letzten aber gar kein Quecksilber abflofs. Zugleich mufsten die nächsten Gefäfse sofort entfernt werden, denn die aufgesogene Quecksilbersäule sank beim Niederfallen unter das Niveau hinab, wurde dann über dasselbe wieder in die Höhe gehoben und sank zum zweiten Male herab, wodurch dann abermals Quecksilber aus den nächsten Oeffnungen getrieben wurde. War die herabsinkende Quecksilbersäule nur 0,25 Zoll hoch, so flofs blofs aus der nächsten Oeffnung Quecksilber aus, bei 0,5 Zoll Höhe der Quecksilbersäule aus zwei, bei 1 Zoll Höhe aus drei, bei zwei und drei Zoll Höhe aus vier Oeffnungen und bei 4 Zoll aus fünfen. Dabei war allezeit die ausgeflossene Menge bei zunehmender Entfernung der Oeffnungen geringer. Waren aufser den Oeffnungen e und i alle übrigen verkorkt, so flofs aus diesen beiden offenen Quecksilber aus, aber aus e bedeutend mehr, als aus i, war aber die erste und letzte nebst einer mittleren Oeffnung unverkorkt, so lief aus allen dreien, aus der letzten aber am wenigsten Quecksilber aus. Wenn also alle Löcher offen blieben, so erschöpfte sich die Kraft des Stofses durch auslaufendes Quecksilber, und es entstand keine Welle, die bis ans Ende fortlief, der Widerstand des in der langen Furche eingeschlossenen Quecksilbers war zu stark, als dafs die Wellenbewegung in ihm bis ans Ende fortlaufen konnte, als aber eine 38 Zoll lange, 5,5 weite Glasröhre, auf welcher 46 senkrechte, 3,8 Lin. weite Glasröhren aufgerichtet waren, mit Quecksilber gefüllt und mit dieser der Versuch wiederholt wurde, sah man sehr deutlich die fortlaufende Welle.

Die Gebrüder Weber zeigen ausführlich, wie auf diese Weise die Geschwindigkeit der Wellen in Flüssigkeiten bis fast zu derjenigen gesteigert werden könne, womit der Schall durch dieselben fortgepflanzt wird, und mir scheint dieses auch aus einfachen Principien nothwendig zu folgen. Wenn eine Reihe elastischer Kugeln, die sich sämmtlich einander unmittelbar

berühren, sich in einer solchen Lage befinden, dafs eine gerade Linie durch die Mittelpuncte derselben läuft, und die erste derselben gestofsen wird, so pflanzt sich diese Bewegung durch die willkürlich lange Reihe mit unmefsbarer Geschwindigkeit fort, und die letzte wird mit der angewandten Kraft abgestofsen[1]. Will man hiervon eine Anwendung auf die Fortpflanzung des Stofses der Schallvibrationen durch feste und flüssige Körper machen, so darf man nicht übersehn, dafs die elastischen Kugeln eine gewisse Masse haben und aus einer unbestimmten, aber sehr grofsen Menge von Molecülen bestehn, die durch den Stofs näher in einander geschoben werden, dann in Gemäfsheit der Elasticität wieder an ihren Ort zurückkehren, und dieses zwar mit der nämlichen Kraft, wodurch die Lage der Theilchen verändert wurde. Ist dagegen der Stofs gegen einen zusammenhängenden festen, hauptsächlich aber flüssigen Körper gerichtet, so trifft derselbe die zunächst berührten Molecüle, bringt diese, so weit es seyn kann, den folgenden näher, welche dann eine gleiche Wirkung gegen die ihnen zunächst liegenden äufsern, und so fort bis ans Ende des zusammenhängenden Körpers. Die einzelnen Molecüle ändern hierbei ihre Lage nicht mefsbar; man kann sich zwar vorstellen, dafs sie pendelartig oscillirend mehrmals hin und her schwanken, die Erfahrung kann aber hierüber keine Auskunft geben, und auf jeden Fall werden die Molecüle der Flüssigkeiten durch den Conflict der anziehenden und abstofsenden Kräfte in verschwindend kurzer Zeit in den Zustand des stabilen Gleichgewichts zurückkehren, wie schon aus der geringen Zusammendrückbarkeit tropfbar-flüssiger Körper von selbst folgt. Wie schnell diese Bewegung von einem Molecül zum andern und somit durch eine gegebene Länge eines festen oder flüssigen Körpers fortgepflanzt werde, ist theoretisch unbestimmbar, weil wir die Gröfse der Wärmeatmosphären und ihr Verhältnifs zu den Atomen ebenso wenig, als den Abstand der letzteren von einander genau kennen; auf jeden Fall mufs die Geschwindigkeit der Fortpflanzung weit gröfser seyn, als die den Wellen zugehörige. Die Bildung der Wellen, seyen es nun stehende oder fortschreitende, erfordert bei flüssigen Körpern allezeit Beweglichkeit der einzelnen mefsbar grofsen Flüssig-

1 Vergl. Art. *Stofs*. Bd. VIII. S. 1073.

keitstheilchen, und wenn sich daher der Stofs auch durch die Molecüle der Körper fortpflanzt, so wird dennoch nicht früher eine eigentliche Wellenbewegung eintreten, als bis die gestofsenen Theile sich in den bereits beschriebenen Bahnen zu bewegen vermögen. Um diese Bahnen zu beobachten und zu sehn, wie sich die Wellen bilden und wie sie fortschreiten, haben
Fig. 108. die Gebrüder Weber einen zweckmäfsig construirten Apparat angewandt. Zwei Leisten aus hartem Holze $\alpha\alpha'\ldots$ $\beta\beta'\ldots$, die auf einander liegend ein Parallelepipedon bildeten, waren inwendig mit einer 0,5 Zoll hohen und 0,25 Z. breiten Rinne versehn, um die gewählte Flüssigkeit aufzunehmen. Die Seitenwandungen des Parallelepipedons waren durch längliche, mit eingesetzten Glasscheiben x, x'... versehne Zwischenräume so unterbrochen, dafs man die Bewegung der Flüssigkeit in der Rinne zu beobachten vermochte. Auf der oberen Seite dieses 6 Fufs langen Parallelepipedons waren 37 Glasröhren von 3 Lin. Durchmesser so eingesetzt, dafs sie mit der Rinne communicirten und je zwei Zoll Zwischenraum zwischen sich liefsen. Wurde dann der Apparat mit Wasser gefüllt, bis dieses in den Röhren einen Zoll hoch stand, und sog man in der einen Endröhre einen Wassercylinder von 6 Zoll Höhe hinauf, so gewahrte man nach dem schnellen Herabsinken desselben eine Welle, die sich nach dem Steigen und Fallen des Wassers in den Röhren gerade so zeigte, fortlief und von dem äufseren Ende zurückgeworfen wurde, als dieses in der offenen Wellenrinne statt fand, blofs mit dem Unterschiede, dafs die Bewegung viel schneller war; ein aus den vorausgeschickten Betrachtungen nothwendig folgendes Resultat. Noch deutlicher zeigte sich das Fortschreiten der Wellen bei der oben erwähnten 38 Zoll langen Glasröhre, mit 46 auf ihr vertical aufgerichteten engeren Glasröhren, wenn diese sämmtlich bis zu einem Zoll Höhe mit Quecksilber gefüllt waren; denn die gröfsere Nähe der verticalen Röhren verstattete die Wellenbewegung genauer wahrzunehmen.

26) Newton hat die Schwingungen der Flüssigkeiten in einer zweischenkeligen communicirenden Röhre (§. 1) bereits untersucht und auf die Oscillationen eines Pendels zurückgeführt. Hieran schliefsen sich die Versuche der Gebrüder Weber mit einem Apparate, welcher drei communicirende Röhren
Fig. 109. vereinigte. In einem zwei Fufs langen Parallelepipedon aus

hartem Holze war eine 0,5 Quadratzoll im Querschnitt weite Furche eingelassen und in diese die drei Glasröhren A, B, C eingesenkt. Die Röhren hatten 3,6 Lin. im Durchmesser und wurden nebst der Rinne so mit Quecksilber gefüllt, dafs dieses in allen einen Zoll über die Fläche des Holzes hervorragte. Zwei Beobachter sogen dann das Quecksilber in der Röhre A zwei Zoll, in der Röhre B einen Zoll in die Höhe, wodurch dasselbe in C der Fläche des Holzes gleich stand, und liefsen es nach einem gegebenen Zeichen ganz gleichzeitig herabsinken, worauf es augenblicklich in der Röhre B stieg und in der Röhre C noch stärker. Dieses Resultat war allerdings merkwürdig, denn da die Oberflächen des Quecksilbers in den Röhren eine gerade Linie und mit der Ebene des Parallelepipedons einen Winkel von 4° 29′ bildeten, die Höhe in B also genau das Mittel zwischen der in A und C hielt, so mufste man erwarten, dafs das Quecksilber in B ruhig bleiben, in A und C aber abwechselnd steigen und fallen würde. Die Erfahrung zeigte aber, dafs die gleichzeitig durch das in A und B herabfallende Quecksilber erregten Wellen sich fortwälzten, weswegen in B das Herabsinken durch die gleichzeitig von A aus ankommende Welle aufgehoben und in ein Steigen verwandelt werden, in C aber, wegen des tieferen Standes, das Steigen noch bedeutender seyn mufste. Weber bemerkt zugleich, dafs B im Stillstande bleiben würde, wenn man gleichzeitig mit dem Fallen des Quecksilbers in A das in C befindliche zum Aufsteigen brächte. Ist die Röhre B nur zwei Zoll hoch, wird sie ganz mit Quecksilber gefüllt und mit dem Finger verschlossen, und läfst man erst einige wechselseitige Oscillationen in A und C erfolgen, ehe man B öffnet, so bleibt das Quecksilber ruhig, und der Zustand ist dem gleich, als ob bei B gar keine Oeffnung vorhanden wäre. Hierbei verwandelt sich die fortschreitende Schwingung in A und C in eine stehende besonderer Art; denn A und C haben genau 7 Schwingungen, wenn B deren 10 hat, wobei die geschwinderen Schwingungen auf die langsameren und umgekehrt keinen merklichen Einflufs äufsern.

b) Newton's Theorie.

27) Die älteste Theorie der Wellen ist die von Newton[1] aufgestellte, welche so eben erwähnt wurde. Die Ansicht dieses scharfsinnigen Gelehrten von der Wellenbewegung gründete sich auf die Versuche, die er mit Flüssigkeiten in communicirenden Röhren angestellt hatte, und er hielt diese stehenden Schwingungen für die einzigen, die bei den Wellen der tropfbar-flüssigen Körper überhaupt statt finden. Hiernach sind die Wellenberge des Wassers seiner Meinung nach die Erhebungen, die in dem einen Schenkel communicirender Röhren sich zeigen, die Wellenthäler dagegen die Vertiefungen im andern. Diese Vorstellung mufste Unterstützung in dem Anblicke der Meereswellen finden, sofern man wahrnimmt, dafs leichte, auf diesen schwimmende Körper abwechselnd lothrecht aufsteigen und herabsinken. Ob er hierbei auch den Umstand beachtet habe, dafs die Wellen, obgleich an der nämlichen Stelle die Erhabenheiten stets mit den Vertiefungen abwechseln, dennoch blofs nach einer Seite hin fortzuschreiten scheinen und im Grunde auch ohne ein eigentliches Fortfliefsen wirklich fortschreiten, finde ich in seinen Aeufserungen nicht deutlich angegeben, obgleich er von der kreisförmigen Ausbreitung der von einem Puncte ausgehenden Wellen redet. Gesetzt aber, es wäre dieser Umstand seiner Aufmerksamkeit nicht entgangen, so konnte er dieses leicht als eine sich von selbst darbietende und daher der besondern Erwähnung gar nicht bedürfende Wirkung des Druckes halten, welchen der Wind auf die Hinterseite der Wellen ausübt.

Dagegen entwickelte Newton deutlich das Gesetz der Schwingungen stehender Wellen tropfbarer Flüssigkeiten. Nach ihm heifst dasselbe wörtlich: wenn Wasser in den aufwärts gerichteten Schenkeln communicirender Röhren oscillirt, und man ein Pendel herstellt, dessen Länge zwischen dem Aufhängepuncte und dem Schwingungsbogen (*centrum oscillationis*) der halben Wasserhöhe in den Röhren gleich kommt, so werden die Schwingungen beider gleichzeitig seyn. Den Beweis dieses Satzes liefert folgende Construction. Es sey in den communi-
Fig. 110. cirenden Röhren KL, MN die mittlere Wasserhöhe AB, CD,

1 Phil. Nat. princip. math. Lib. II. sect. VIII.

die gleiche Höhe seines Aufsteigens und Herabsinkens aber sey GH und EF. Ferner sey VP ein Pendel und RPQS sein cykloidischer Schwingungsbogen und die Höhe des Bogens PQ der Höhe AE gleich. Dieses vorausgesetzt ist die Kraft, wodurch das Wasser in den Schenkeln abwechselnd steigt und fällt, das Uebergewicht des Wassers in dem einen Schenkel über das Gewicht des Wassers im andern. Wenn daher das Wasser in dem einen Schenkel bis EF steigt, im andern bis GH sinkt, so ist die Kraft einer doppelten Wassersäule EABF gleich, und verhält sich daher zum Gewichte der gesammten Wassermasse wie AE oder PQ zu VP oder PR. Es verhalten sich daher die bewegenden Kräfte beim Wasser und beim Pendel, wenn beide gleiche Räume AE und PQ herabfallen, wie die zu bewegenden Massen. Beträgt also die Höhe der ganzen Wassersäule in communicirenden Röhren $6\frac{1}{9}$ Par. Fuſs, so wird das Aufsteigen in einer Secunde und das Herabsteigen gleichfalls in einer Secunde erfolgen, denn ein Pendel von $3\frac{1}{18}$ Par. Fuſs Länge vollendet in dieser nämlichen Zeit eine einfache Schwingung.

Obgleich diese Demonstration richtig ist, so kann sie doch in Gemäſsheit des neuerdings genauer erkannten Verhaltens der fortschreitenden Wasserwellen diejenige Anwendung nicht leiden, welche Newton hierauf macht. Die Geschwindigkeit der Wasserwellen soll nämlich den Quadratwurzeln ihrer Breite proportional seyn, und ein Pendel, dessen Länge der Wellenbreite gleich ist, in eben der Zeit eine einfache Oscillation beendigen, in welcher die Welle um ihre Breite fortschreitet, weil dieses diejenige Zeit ist, in welcher der Wellenberg seine gröſste Höhe und das Wellenthal seine gröſste Tiefe erreicht. Man ersieht also hieraus deutlich, daſs Newton die Wasserwellen als stehende Oscillationen betrachtete, indem er noch hinzusetzt, daſs das Aufsteigen und Niedersinken der Wassertheilchen als in einer geraden Linie erfolgend betrachtet werde, da es doch mehr in einem Kreise geschehe, weswegen die theoretische Zeitbestimmung mit der wirklichen nur annähernd übereinstimme.

28) Diese kurzen, aber sehr deutlichen Sätze wurden durch 's Gravesande[1] weiter ausgeführt, und die Theorie

1 Physices Elementa mathem. cet. edit. 4. Leidae 1748. 4. T. I. Lib. III. Cap. XI. p. 492.

wurde lange als genügend betrachtet, gilt auch gegenwärtig noch als solche für die stehenden Wellen, namentlich diejenigen, welche den Schall fortleiten; inzwischen zeigte LAGRANGE[1], dafs sie auf die gewöhnlichen Wasserwellen nicht anwendbar sey, weil diese sich nicht als rein verticale Oscillationen betrachten liefsen, und hiermit stimmen auch die späteren Gelehrten überein, welche das Problem der Wellen vorzüglich dem Calcül unterwarfen. Uebrigens erkennen die Gebrüder WEBER den Werth des von NEWTON angestellten Versuches an, welcher sie zu den ähnlichen (§. 25 u. 26) veranlafste, die vorzüglich dazu dienten, den von ihnen aufgefundenen Unterschied der stehenden und der fortschreitenden Wellen anschaulich zu machen.

c) LAPLACE's Theorie.

29) Es scheint mir unnöthig, den Calcül, welchen LAPLACE über die Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten aufgestellt hat, ganz mitzutheilen, und eine Abkürzung desselben ist nicht wohl zulässig; zudem überzeugt man sich bald, dafs er den wesentlichen Unterschied zwischen den fortschreitenden und den stehenden Wellen sich nicht deutlich vorgestellt hat. Er denkt sich eine Curve bis zu geringer Tiefe in eine Flüssigkeit herabgedrückt, diese nach hergestellter Ruhe plötzlich weggenommen, und berechnet dann die Zeit der Oscillationen, welche zugleich die des Fortschreitens der Welle seyn soll. Hierdurch gelangt er zu dem Resultate, dafs, wenn die Curve bis zu ungleicher, gröfserer oder geringerer Tiefe herabgedrückt ist, die Zeit des Fortganges einer Welle bis zu einer gegebenen Entfernung stets die nämliche seyn wird, ungefähr wie die Zeit einer Pendelschwingung nahe gleich ist, die Schwingungsbogen seyen grofs oder klein, vorausgesetzt, dafs sie überhaupt eine merkliche Gröfse nicht übersteigen. Die Breite der Wellen oder die Ausdehnung der gleichzeitig bewegten Flüssigkeiten übt auf die Zeit ihres Fortschreitens keinen bedeutenden Einflufs aus, und wenn nach NEWTON diese Zeiten sich wechselseitig wie die Quadratwurzeln der Breiten verhal-

---

1 Nouv. Mém. de l'Acad. de Berlin pour 1786. Berl. 1788. 4. p. 181.

ten sollen, so verhalten sie sich nach LAPLACE vielmehr wechselseitig wie die Quadratwurzeln der Höhen. Ist die Tiefe der Flüssigkeit sehr groſs in Vergleichung zu dem Halbmesser des an die Oberfläche der Wellen gelegten Krümmungskreises, so stehn die Zeiten des Fortschreitens der Wellen, die von verschiedenen Curven oder von der nämlichen in verschiedenen Lagen begrenzt sind, im wechselseitigen Verhältnisse der Quadratwurzeln der Halbmesser der Krümmungskreise, und die Geschwindigkeiten verhalten sich direct wie diese Quadratwurzeln. Diese Darstellung und die unmittelbare Vergleichung der Wasserwellen mit denen, welche den Schall fortpflanzen, zeigen genugsam, daſs auch LAPLACE von der Vorstellung NEWTON's, die Wasserwellen für das Resultat stehender Schwingungen zu halten, nicht abgewichen sey.

d) LAGRANGE's Theorie.

30) LAGRANGE[1] fand NEWTON's Theorie nicht befriedigend, weder in ihrer ursprünglichen einfachen Gestalt, noch auch mit denjenigen Modificationen, welche sie durch LAPLACE erhalten hatte; er unternahm es daher, eine neue aufzustellen, doch gelang es ihm nicht, das Problem zu lösen, weil ihm die Kenntniſs der erst später aufgefundenen Bewegung der Wassertheilchen fehlte. Eben daher geht er davon aus, die Wellenbewegung des Wassers auf eine genäherte Weise als derjenigen ähnlich nachzuweisen, welche in der Luft bei der Fortpflanzung der Schallwellen statt finde. Es sey daher TV Fig.
der horizontale Boden eines mit Wasser bis zu geringer Tiefe 111.
gefüllten Bassins, AE die ebene oder in Ruhe befindliche Oberfläche desselben und ABCDE die in Wellenbewegung befindliche. Denkt man sich die ganze Masse des ruhenden Wassers in eine Menge rectangulärer Säulen aEFb; bFGd... von der Höhe = aE; bF... und der Breite = EF; FG..., letztere verschwindend klein angenommen, getheilt, so kann man ohne merklichen Irrthum annehmen, daſs diese mit Beibehaltung ihrer Gestalt und ihres Inhalts in die Säulen $\alpha\varepsilon\varphi\beta$; $\beta\varphi\gamma\delta$... verwandelt werden, das Wasser als nicht zusam-

1 Mécanique analytique. 2me Part. 8me Sect. p. 487. Deutsche Uebers. von MURHARD S. 550. Mém. de Berl. 1786. Berl. 1788. p. 192.

mendrückbar vorausgesetzt, und es wäre dann nur die horizontale Bewegung dieser Säulen noch nachzuweisen. Denkt man sich nämlich die beiden neben einander liegenden Säulen $\alpha\varepsilon\varphi\beta$; $\beta\varphi\gamma\delta\ldots$, so würden sie bei gleicher Höhe keinen Druck gegen einander ausüben, also auch keine Bewegung entstehn können; wenn aber die Höhe $\alpha\varepsilon$ der einen grölser ist, als die Höhe $\beta\varphi$ der andern, so mufs der Unterschied $\alpha\varepsilon - \beta\varphi$ in allen Puncten der Linie $\beta\varphi$ einen Druck gegen das Rectangel $\beta\varphi\gamma\delta$ erzeugen, welcher diesem Unterschiede proportional ist. Der hieraus hervorgehende Gesammtdruck gegen das Element $\beta\varphi\gamma\delta$, welcher ihm eine horizontale Bewegung zu geben vermag, würde demnach $= (\alpha\varepsilon - \beta\varphi)\beta\varphi$, und wenn man diesen im Verhältnifs zur bewegten Masse $\beta\varphi\gamma\delta$ nimmt, so giebt dieses $\frac{(\alpha\varepsilon - \beta\varphi)\beta\varphi}{\beta\varphi\gamma\delta}$ als den Werth der beschleunigenden horizontalen Kraft des Elementes $\beta\varphi\gamma\delta$ oder des Punctes φ in der Richtung gegen V. Weil aber $\alpha\varepsilon\varphi\beta = \text{aEFb}$, $\beta\varphi\gamma\delta = \text{bFGd}$ und $\text{aEFb} = \text{bFGd}$, so hat man $\alpha\varepsilon = \frac{\text{aEFb}}{\varepsilon\varphi}$; $\beta\varphi = \frac{\text{aEFb}}{\varphi\gamma}$, mithin $\alpha\varepsilon - \beta\varphi = \frac{\text{aEFb}(\varphi\gamma - \varepsilon\varphi)}{\varphi\gamma \times \varepsilon\varphi}$, oder $= \frac{\text{aEFb}(\varphi\gamma - \varepsilon\varphi)}{(\text{E F})^2}$, weil der Ueberschufs der Höhen $\alpha\varepsilon$; $\beta\varphi$ über die ursprünglichen Höhen aE; bF als verschwindend klein angenommen ist und demnach $\varepsilon\varphi$; $\varphi\gamma$ nur unmerklich von EF verschieden sind. Sofern daher $\beta\varphi\gamma\delta = \text{aEFb}$ und $\beta\varphi$ nahe genau $= \text{aE}$ ist, so erhält man für die beschleunigende Kraft des Punctes φ den Ausdruck $\frac{(\varphi\gamma - \varepsilon\varphi) \times \text{aE}}{(\varepsilon\text{F})^2}$.

Fig. 112. LAGRANGE nimmt dann zur Erläuterung dieser Bewegung eine willkürliche Curve PKH hinzu, und setzt voraus, dafs in einer willkürlichen, durch den Bogen PH dargestellten Zeit der Punct E den verschwindenden Raum $\text{E}\varepsilon = \text{PL}$, und die Puncte F; G... die sehr kleinen Räume $\text{F}\varphi = \text{PM}$; $\text{G}\gamma = \text{PN}$ zurückgelegt haben, ein constantes Verhältnifs zwischen HI; IK ... und EF; FG ... vorausgesetzt. Dann ist $\varepsilon\varphi = \text{EF} + \text{F}\varphi - \text{E}\varepsilon = \text{EF} + \text{PM} - \text{PL} = \text{EF} - \text{ML}$; $\varphi\gamma = \text{FG} + \text{G}\gamma - \text{F}\varphi = \text{FG} + \text{PN} - \text{PM} = \text{EF} - \text{NM}$. Hiernach ist also die gesuchte Kraft $= \frac{\text{ML} - \text{NM}}{(\text{EF})^2} \times \text{aE}$, und ebenso findet man die beschleunigende Kraft des Punctes ε,

d. h. des Punctes E an der Stelle ε, durch den Ausdruck $\frac{Ll - ML}{(EF)^2} \times aE$ (wenn man den Bogen $Hh = IH$ genommen und die Ordinate hJ herabgesenkt hat), d. h. $= \frac{Ll - ML}{(HI)^2} \times \left(\frac{HI}{EF}\right)^2 \times aE$ als diejenige beschleunigende Kraft, welche bewirkt, dafs der Raum PL in der Zeit PH der Hypothese gemäfs durchlaufen wird. Damit diese Hypothese gelte, mufs nach den Regeln der Mechanik diese Kraft dem Unterschiede der Geschwindigkeiten $\frac{Ll}{Hh} - \frac{ML}{HI}$ zum Elemente der Zeit proportional, also (weil $Hh = HI$) $= \frac{Ll - ML}{(HI)^2}$ seyn. Die Vergleichung beider Ausdrücke für die beschleunigende Kraft giebt die Gleichung

$$\left(\frac{HI}{EF}\right)^2 \times aE = 1,$$

welche von der Figur der Krümmung PH unabhängig ist und blofs dazu dient, das constante Verhältnifs $\frac{EF}{HI} = \sqrt{aE}$ zu bezeichnen. Somit ist also das vorausgesetzte Gesetz genau und die Curve PH bleibt willkürlich, wie dieses bei der Theorie von der Fortpflanzung des Schalles gleichfalls statt findet.

Es ergiebt sich hieraus, dafs die Curve PH von der ursprünglichen Erschütterung des Wassers abhängt, das heifst der Verrückung der Wassersäulen aEFb; bFGd..., je nach der die Wellen erzeugenden Ursache; die Auflösung dieser Aufgabe ist daher allgemein, wie auch diese ursprünglichen Erschütterungen seyn mögen, und die Geschwindigkeit der Wellen ist hiervon gänzlich unabhängig, wie die der Luftwellen, die den Schall fortpflanzen, denn man sieht leicht, dafs diese Geschwindigkeit gleichfalls durch das constante Verhältnifs EF zu HI ausgedrückt wird, weil in Gemäfsheit der Construction nach der Zeit HI die Puncte F und G gleiche Räume durchlaufen haben, als die Puncte E und F beim Anfange dieser Zeit, und dafs diesemnach ihr Abstand und also die Höhe der ihnen zugehörigen Säule nach dieser Zeit die nämliche seyn wird, als die der Säulen, die den Puncten E und F im Anfange dieser Zeit zugehörten, so dafs man annehmen kann,

diese habe während der Zeit HI einen ihrer Basis gleichen Raum, welcher ungefähr gleich EF gesetzt werden kann, zurückgelegt. Ist aber $\frac{EF}{HI} = \sqrt{aE}$, so folgt hieraus, daſs die Geschwindigkeit des Fortschreitens der Wasserwellen derjenigen gleich seyn wird, welche ein Körper durch das Herabfallen von der halben Höhe aE, die der halben Höhe des Wassers im Canale gleich ist, erlangen würde. Hier zeigt sich eine vollkommene Analogie mit der Fortpflanzung des Schalles, welche theoretisch aus der halben Höhe der Atmosphäre, diese überall gleich dicht angenommen, abgeleitet wird. Wird hierbei gleich vorausgesetzt, daſs die Tiefe des Wassers nicht bedeutend sey, so liegt hierin kein Hinderniſs, denn man darf nur annehmen, daſs die Erschütterung des Wassers nicht tief hinabreiche, wie dieses aus der Adhäsion der Wassertheilchen unter einander folgt und durch die Erfahrungen bei den Meereswellen Bestätigung findet. Kennt man aber die Geschwindigkeit der Wellen durch Messung, so läſst sich hieraus die Tiefe, bis zu welcher das Wasser bewegt wird, auffinden, denn diese beträgt allezeit das Doppelte der Höhe, die der beobachteten Geschwindigkeit zugehört.

Aus diesen letzten Sätzen geht klar hervor, daſs Lagrange bei seiner Theorie von Principien ausging, die in der Erfahrung keineswegs begründet sind; im Wesentlichen kommt aber seine Theorie auf die durch Newton aufgestellte zurück, und man kann bloſs sagen, daſs er dieselbe anders modificirt habe.

e) Flaugergues's Theorie.

31) Dieser Theorie[1] legen die Gebrüder Weber einen gröſseren Werth bei, als mit der geringen, ihr bisher geschenkten Aufmerksamkeit übereinkommt; denn sie ist auf Versuche gegründet, die sehr geeignet sind, mit ihren eigenen verglichen zu werden. Diese, mit seinen eigenen Worten wiedergegeben, sind folgende.

---

1 Verhandelingen uitgegeven door de Hollandsche Maatschappye der Weetenschappen te Haarlem. XXIX. Deel. Haarl. 1793. p. 131.

1) In einem Behälter von etwa 12 Quadratfuſs Oberfläche befand sich eine 3 Fuſs tiefe Wasserschicht. Das Gefäſs stand in einem eingeschlossenen Raume, um jeden Einfluſs des Windes zu vermeiden. In dem Wasser schwammen Kugeln von Wachs, die durch etwas eingeschlossenes Blei ein dem Wasser fast genau gleiches specifisches Gewicht hatten. Als alles in vollkommener Ruhe war, wurden Wellen auf der Oberfläche des Wassers durch den Stoſs mit einem Stabe erzeugt, an dessen Ende perpendiculär aufgesetzt sich ein kupferner Cylinder von etwa 9 Linien Durchmesser befand, welcher jedoch höchstens nur 4 bis 5 Linien eintauchte, um die Erschütterung der tieferen Theile der Flüssigkeit zu vermeiden. Durch die Stöſse entstanden groſse Undulationen auf der Oberfläche des Wassers, aber sie vermochten den schwimmenden Wachskugeln keine horizontale Bewegung mitzutheilen, vielmehr befanden sich dieselben nach hergestellter Ruhe noch sehr nahe an den nämlichen Stellen und in gleichem Abstande von dem Puncte, wo durch den Stoſs die Wellen erzeugt waren, als im Anfange vor der Bewegung; sie stiegen mit den Wellen in verticaler Richtung aufwärts und sanken wieder herab, ohne in horizontaler Richtung ihren Ort zu verändern. Denselben Versuch stellte Flaugergues an, indem er zerkleinertes Siegellack in das Wasser warf, wovon verschiedene kleine Brocken in demselben schwebend blieben, durch ihre hervorstechende Farbe leicht zu beobachten waren, und durch die Wellen auf gleiche Weise sich in verticaler Richtung bewegten, ohne in horizontaler ihren Ort zu verändern.

2) Flaugergues zog in geringer Höhe über der Wasserfläche im Gefäſse eine horizontale Linie, und stellte sich dieser so gegenüber, daſs sein Auge die Wellen gegen dieselbe projicirte. Waren dann auf die angegebene Weise Wellen erzeugt, so verfolgte er mit dem Auge mehrere derselben von ihrem Ursprunge bis an den Rand des Gefäſses, und beobachtete, daſs ihre Gipfel während der ganzen Bewegung gleichmäſsig und ohne Unterbrechung sich in der horizontalen Richtung erhielten und successiv alle Puncte derselben durchliefen, ohne jemals über dieselbe aufzusteigen oder unter sie hinabzusinken, wie hätte geschehn müssen, wenn die Wellen aus einer abwechselnd aufwärts und abwärts gehenden Bewegung der

Flüssigkeitstheilchen, der gewöhnlichen Ansicht gemäſs, beständen[1].

Aus diesen Versuchen muſs man daher schlieſsen, daſs eine Welle nicht durch eine solche Bewegung erzeugt werde, vermöge welcher die Wassertheilchen in einer schlangenförmigen Linie auf und ab steigend sich von dem Orte bewegen, wo der Stoſs erfolgt ist, sondern daſs dieser Stoſs durch das Niederdrücken des Wassers eine Anschwellung um sich herum erzeugt, die sich kreisförmig von diesem Puncte aus um ihn verbreitet. Weil aber das Wasser von allen Seiten her in die erzeugte Vertiefung herbeiflieſst, so wird diese bald mehr als vollständig ausgefüllt, es entsteht hierdurch eine Erhöhung, die dann abermals eine Erhebung oder eine neue Welle um sich entstehn macht, welche sich gleichfalls kreisförmig ausbreitet. Durch mehrmalige Wiederholung dieser Wirkung wird die ganze Oberfläche von einer Zahl concentrischer kreisförmiger Wellen bedeckt, die sich wechselseitig erheben und herabsenken und dadurch die Vorstellung einer undulatorischen Bewegung erzeugen, wie man sie bisher gehabt hat. Sie findet auſserdem eine scheinbare Bestätigung in den Wellen, die man auf einigen schnell flieſsenden Flüssen wahrnimmt, welche in der That eine fortschreitende Bewegung haben, indem sie abwechselnd aufsteigen und herabsinken, allein diese werden durch die Erhabenheiten und Vertiefungen herbeigeführt, die sich auf dem Boden der Flüsse finden.

Die Gebrüder Weber haben die auf diese Versuche gegründeten Schlüsse sachgemäſs gewürdigt, wie sich später durch deren Mittheilung ergeben wird; zuvor aber möge gestattet seyn, noch Folgendes zu bemerken. Es gewinnt den Anschein, als halte Flaugergues die Wellen bloſs für die Erhabenheiten, die sich vom Puncte der Entstehung der Wellen kreisförmig ausbreiten, allein in diesem Falle müſste ihre Höhe eben durch diese Ausbreitung, das heiſst den Radien der

---

1 Diese Ansicht kommt mit der durch Newton geäuſserten überein, wenn man dieselbe streng nimmt, gilt jedoch nur von den stehenden Wellen. Daſs übrigens die Gipfel der gewöhnlichen Wasserwellen in einer horizontalen Ebene liegen, stimmt mit der allgemeinen Erfahrung überein, die Gebrüder Weber aber machen dieses Verhalten sehr anschaulich durch die Vergleichung mit der, welche man wahrnimmt, wenn eine Walze unter einem Stücke Zeug hinrollt.

Kreise proportional, abnehmen, was jedoch nicht der Fall ist, und wenn sich daher ihre Höhe bei ihrer Ausbreitung nicht ändert, so muſs dieses eine Folge von Oscillationen der Wassertheilchen seyn, die sich in ihnen erheben und nachher wieder herabsinken. Diese Betrachtung führte Newton und dessen Anhänger auf die Hypothese der Oscillationen, die Versuche der Gebrüder Weber geben aber der Sache allerdings ein anderes Ansehn.

32) Auf diese Versuche gründet Flaugergues die Be- Fig.
stimmung der Gestalt der Wellen. Es sey ABC ein verticaler 113.
Querschnitt durch die Welle, wobei BC bis zu ihrem höchsten Puncte reicht, EF sey eine in diesem Querschnitte willkürlich gewählte Säule, und in dieser ein Theilchen I; dann ziehe man ferner die horizontalen Linien FD; IK. Es liegt in der Natur der Sache, daſs der Druck der Säule BC sich einem jeden Molecül des Querschnittes ABC ganz mittheilt, woraus folgt, daſs, abgesehn von der Schwere, jedes Molecül, z. B. das durch I bezeichnete, durch eine der Säule BC proportionale Kraft in die Höhe gehoben wird; allein es ist auch einleuchtend, daſs das Gewicht des Theiles BK dieser Säule durch die entgegengesetzte Wirkung des Gewichts des Theiles IE = BK der Säule EF aufgehoben wird, und wenn das Molecül I durch die Säule FI = DK in die Höhe steigt, so ist die Kraft, womit dieses geschieht, bloſs durch den Theil CD der Säule BC gegeben. Allgemein ist also die Kraft, wodurch ein Molecül irgend einer Säule EF aufsteigt, dem Gewichte des Theiles DC der Säule BC gleich, welcher sich über dem Niveau des höchsten Punctes F dieser Säule EF befindet, mithin dem Abstande FG dieses höchsten Punctes von der horizontalen Linie CH proportional. Nimmt man hiernach A als den Anfangspunct rechtwinkeliger Coordinaten für die Curve AC, und die gerade Linie AB als die Axe dieser Curve, nennt man ferner AE = x; EF = y; BC = a; die Zeit, während welcher der Druck der Säule BC auf die Säule EF gewirkt hat, um ihren Gipfel bis F aufsteigen zu machen, = t; die Geschwindigkeit, welche am Ende der Zeit t durch den Druck dieser Säule erzeugt ist, = v; die Fallgeschwindigkeit = g und endlich die Entfernung, bis wohin der Druck der Säule BC sich in der Zeiteinheit verbreiten kann, = h, so läſst sich eine Gleichung für die Curve finden. Vorausgesetzt, die

Säulen BC und EF seyen verschwindend dünn, so hat man $g(a-y)$ für das Gewicht des Theiles CD der Säule BC, oder für die beschleunigende Kraft, welche auf den Punct F der Säule EF wirkt. Nach den Regeln für die beschleunigenden Kräfte ist aber

$$g(a-y)\partial y = v\partial v$$

und für $y = 0$, wenn $v = 0$ wird, integrirt

$$g(ay - \tfrac{1}{2}yy) = \frac{v^2}{2},$$

also

$$\sqrt{g}\sqrt{(2ay-yy)} = v = \frac{\partial y}{\partial t}$$

und

$$\partial t = \frac{1}{\sqrt{g}}\frac{\partial y}{\sqrt{(2ay-yy)}} = \frac{1}{a\sqrt{g}}\cdot\frac{a\partial y}{\sqrt{(2ay-yy)}}.$$

Endlich also

$$t = \frac{1}{a\sqrt{g}}(\text{Arc. Sin. vers. } y),$$

d. h. die Zeit t ist gleich der Gröſse $\frac{1}{a\sqrt{g}}$ multiplicirt mit demjenigen Bogen, dessen Sinus versus $= y$ bei einem Kreise vom Halbmesser a ist. Insofern aber die Flüssigkeit, auf welcher die Wellen sich ausbreiten, als homogen angenommen wird, muſs die Fortpflanzung des die Wellen erzeugenden Druckes auf eine gleichmäſsige Weise geschehn. Wenn nun die Zeit, während welcher der Druck der Säule BC auf den Gipfel der Säule EF gewirkt hat, die nämliche ist, als während welcher sich der Druck von E nach A fortpflanzt, so erhält man aus der Proportion $b:1 = x:t$ die Gleichung $t = \frac{x}{b}$, und wenn beide Werthe von t einander gleichgesetzt werden,

$$x = \frac{b}{a\sqrt{g}}(\text{Arc. Sin. vers. } y)$$

als Gleichung für die Curve AC. Dieses zeigt, daſs sie unter diejenigen Curven gehört, welche die Geometer eine *Begleiterin der Cykloide* nennen.

Inzwischen stellt die Curve, welcher diese Gleichung zugehört, nur den vorderen Durchschnitt der Welle dar, während

sie durch den Druck der Säule BC in diesem Zustand erhalten wird, der hintere Theil der Welle hat dagegen eine andere Krümmung; denn da der Erfahrung nach die Wellen in horizontaler Ebene fortschreiten, ohne daſs sich die Wassertheilchen in dieser Richtung eigentlich bewegen, so müssen nothwendig die Spitzen der verschiedenen Säulen, welche sich in dem Querschnitt ABC befinden, um dieses Fortschreiten hervorzubringen, nach und nach die horizontale Linie CH erreichen, dann sich wieder senken, so daſs jede dieser Spitzen, indem sie für einen Augenblick den Gipfel der Welle bildet, den Schein erzeuge, als bleibe sie stets in derselben Höhe und bewege sich wirklich von C nach H. Sofern also diese Wassersäulen in Folge ihres Gewichtes herabsinken und dieses sowohl gleichmäſsig als auch allmälig erfolgt, so müssen ihre Spitzen in einem verticalen Durchschnitte durch den hintern Theil der Welle eine Parabel bilden. Wirklich schienen die Wellen diese Figur zu haben, nämlich daſs ihre Oberfläche an der vorderen Seite eine Curve, wie die oben beschriebene, an der hinteren eine Parabel bildete, wie sich ergab, als diese Figur in Papier ausgeschnitten und den Wellen angepaſst wurde.

Die Zeit, welche eine Welle gebraucht, um durch ihre scheinbare Bewegung die Bahn CH, die ihrer Breite gleich ist, zu durchlaufen, ist derjenigen gleich, welche eine Säule in A am Ende der Welle gebraucht, um durch den Druck der ersten Säule BC und dann successiv aller folgenden, die zwischen B und A liegen, bis H aufzusteigen, weil eine jede dieser Säulen, eine nach der andern, für eine gegebene Zeit die höchste wird und den Gipfel der Welle bildet. Hieraus folgt, daſs die scheinbare Geschwindigkeit der Wellen stets die nämliche ist, wie auch ihre Höhe seyn mag; denn erstlich wird die Breite der Wellen bloſs durch die Entfernung bedingt, bis zu welcher ein auf der Oberfläche des Wassers angebrachter Druck sich in einer gegebenen Zeit erstrecken kann, eine Entfernung, welche stets die nämliche bleibt, wie auch dieser Druck seyn mag, weil diese Fortpflanzung bloſs von der Trägheit und der respectiven Lage der Flüssigkeitstheilchen abhängt; und da zweitens die Spitze der Säule in A gegen die Linie CH, also bis zum Niveau der Säule BC, durch eine Kraft getrieben wird, welche ihrem Abstande von dieser Linie stets proportional ist, so wird diese Spitze stets die nämliche Zeit bedürfen, um dahin

zu gelangen, welche auch immer die Höhe von BC oder der ursprüngliche Abstand der Säulenspitze, welche in A gehoben wird, von der Linie CH seyn mag. Nach der Gleichung für die Curve des vordern Wellendurchschnittes erhebt sich die Spitze einer Säule, welche durch eine andere Säule von der Höhe $= a$ gedrückt wird, zur Höhe $= y$ in einer Zeit, welche $= \frac{1}{a\sqrt{g}}$ (Arc. sin. vers. y) ist, indem dieser Bogen einem Kreise vom Halbmesser a zugehört und also die Gröfse $\frac{1}{a\sqrt{g}}$ mit dem vierten Theile des Bogens dieses Kreises multiplicirt wird. Heifst also die Zeit t und bezeichnet π die Ludolph'sche Zahl, so hat man

$$t = \frac{1}{a\sqrt{g}} \cdot \frac{\pi a}{4} = \frac{\pi}{4\sqrt{g}}.$$

Heifst dann t' die Zeit, welche eine Säule gebraucht, die durch eine andere Säule von der Höhe $= c$ gedrückt wird, um zu dieser Höhe c zu gelangen, so hat man auf gleiche Weise

$$t' = \frac{1}{c\sqrt{g}} \cdot \frac{\pi c}{4} = \frac{\pi}{4\sqrt{g}},$$

also $t = t'$. Sofern daher die Geschwindigkeit einer Welle nichts anderes ist, als das Verhältnifs ihrer Breite zu der Zeit, welche der Gipfel dieser Welle gebraucht, um diese Breite durch seine scheinbare Bewegung zu durchlaufen, oder zu der Zeit, welche die letzte Säule gebraucht, um sich zum Niveau der ersten zn erheben, so folgt hieraus, dafs die Geschwindigkeit der Wellen von ihrer Höhe ganz unabhängig ist.

3) Um diese theoretisch gefundene Folgerung, dafs die hohen und niederen Wellen eine gleiche Geschwindigkeit haben, dnrch Versuche zu bestätigen, bestimmte FLAUGERGUES an einem aufgestaueten Theile der Rhone, wo die Wasserfläche daher ruhig war, eine Länge von 30 Fufs, liefs an dem einen oder dem andern Ende kleine Steine hineinwerfen, mafs die Zeit, welche die so erregten grofsen und kleinen Wellen bedurften, um diesen Raum zu durchlaufen, und fand, dafs sie für alle gleich war, nämlich ungefähr 21 Secunden.

33) Wenn die Spitze einer Säule, z. B. der EF, durch die Wirkung der herabsinkenden Säule BC und der dieser folgenden herabsinkenden Säulen bis zur horizontalen Linie CH oder zur Höhe $= a$ gelangt, so hat diese Säule eine gewisse

Geschwindigkeit erhalten, die ihr durch die Wirkung dieser herabsinkenden Säulen ertheilt ist. In Gemäſsheit dieser Geschwindigkeit müſste jene gehobene Säule fortfahren sich zu erheben. Denn da in dem Verhältniſs, in welchem sie aufsteigt, das Gewicht des über CH befindlichen Theiles kein Gegengewicht in dem Drucke der angrenzenden Säulen findet, so strebt dieser Theil seine Geschwindigkeit zu vermindern, und da diese Säule also durch eine dem Abstande ihrer Spitze von der Linie CH proportionale Kraft verzögert wird, so wie sie durch eine diesem Abstande proportionale Kraft beschleunigt wurde, so müſste die beschleunigte Bewegung dieser Säule der verminderten genau gleich seyn, und ihre Spitze sich daher ebenso hoch über die Linie CH erheben, als sie sich im Anfange ihrer Bewegung unter derselben befand, d. h. sie müſste bis zur Höhe = 2a steigen. Hier angekommen müſste sie die ihr benachbarten Säulen mit einer beschleunigenden Kraft = 2a erheben und diese also zur Höhe = 4a gelangen, die Wellenhöhen also in einer bedeutenden Progression wachsen. Daſs dieses nicht statt findet (was übrigens theoretisch schwerlich begründet seyn dürfte), davon findet Flaugergues die Ursachen hauptsächlich im Widerstande der Luft, in der Reibung der Wassertheilchen an einander und vorzüglich in der Adhäsion, welche die einzelnen Wasserpartikeln an einander bindet und bewirkt, daſs die Wassersäule nicht aufsteigen kann, ohne eine Menge der ihr anhängenden, unter ihr befindlichen Wassertheilchen nach sich zu ziehen, die sie daher verhindern, zu derjenigen Höhe zu gelangen, die sie eigentlich erreichen müſste, wenn sie sich frei bewegte. Die ersten beiden Gröſsen, meint er, lieſsen sich geometrisch bestimmen, weil die Gesetze, worauf sie beruhen, bekannt sind, allein bei der dritten, die obendrein bei weitem die wirksamste ist, sind die Gesetze ganz unbekannt, und wollte man Hypothesen hierüber aufstellen, so könnten diese nur willkürlich seyn und leicht zu Irrthümern führen. Es genügt daher nur zu bemerken, daſs die Höhe der Wellen zwar nicht in dem Verhältniſs wächst, welches theoretisch gefunden ist, dennoch aber gewahrt man eine bedeutende Zunahme derselben, wenn man sie von ihrem Ursprunge an verfolgt, die sich jedoch wegen des schnellen Vorüberganges auch empirisch nicht wohl bestimmen läſst.

34) Das Urtheil der Gebrüder Weber über diese Theorie

kommt im Wesentlichen auf Folgendes hinaus. Der erste Versuch ist in Beziehung auf das, was er beweisen soll, völlig genügend; denn man darf als ausgemacht ansehn, daſs die scheinbare horizontale Fortbewegung der Wassertheilchen nicht existirt, sondern daſs sie, bald vorwärts bald rückwärts sich bewegend, ihren Ort in horizontaler Richtung nicht wesentlich ändern. Ungeachtet sie selbst weit steilere Wellen erzeugten, als welche Flaugergues durch seine Methode hervorzubringen vermochte, so waren sie doch immer bedeutend flach, und da die horizontalen Bewegungen der Wassertheilchen sich allezeit so viel kleiner zeigen, je weniger steil die Wellen sind, so konnten sie bei den durch Flaugergues erzeugten gar nicht wahrgenommen werden, wie denn auch Bremontier jede horizontale Bewegung der Wassertheilchen in den Meereswellen in Abrede stellt. Durch den zweiten Versuch finden sie Newton's Theorie und die seiner Nachfolger vollkommen widerlegt und zugleich bewiesen, daſs die Wellen ihrer Form nach auf der Oberfläche des Wassers stetig fortschreiten. In dieser Beziehung ist allerdings unleugbar richtig, daſs die Wellen nicht aus perpendiculären Oscillationen bestehen, allein es wurde schon oben bemerkt, daſs ohne alle verticale Bewegung der Wassertheilchen die Wellen nothwendig auf der ihre Thaltiefen bildenden Oberfläche fortgleiten müſsten, ohne ihre Gestalt und die gegenseitige Lage ihrer Theilchen zu ändern, was unter allen Voraussetzungen am wenigsten statthaft ist. Bekanntlich haben aber die Gebrüder Weber eben dieses eigenthümliche Verhalten der Wassertheilchen durch ihre Versuche genau ermittelt. Der dritte Versuch konnte nach ihrer Ansicht leicht zu dem Resultate führen, daſs die Geschwindigkeit aller Wellen gleich sey, denn es war zu schwer, unter den von Flaugergues gewählten Umständen genau zu beobachten; inzwischen geht schon daraus, daſs die Breite der Wellen beim Fortschreiten zunimmt, evident hervor, daſs die vorausgehenden sich schneller bewegen, als die nachfolgenden. Ebenso findet die aus oberflächlicher Ansicht entnommene Vergröſserung der Wellen beim Fortschreiten hinlängliche Widerlegung durch die directen Messungen der Gebrüder Weber, abgesehn davon, daſs sie an sich unmöglich ist, weil sonst die Wellen ohne Aufhören fortschreiten müſsten, bis sie zu einer widerstehenden Fläche gelangten.

f) Gerstner's Theorie.

35) Gerstner's Theorie der Wasserwellen[1] ist zwar in Deutschland sehr allgemein, im Auslande aber fast gar nicht bekannt geworden; die Gebrüder Weber haben sie ganz aufgenommen, hier wird aber ein Auszug aus seiner Abhandlung genügen, wenn nur die Abkürzung der Deutlichkeit keinen Abbruch thut.

Uebergeht man die Erzeugung der Wellen und nimmt man dieselben als schon vorhanden an, so ist in diesem Zustande der Druck, welchen jedes Wassertheilchen an der Oberfläche erleidet, $= 0$ und wächst mit der Tiefe, ist aber bei statt findender Bewegung nicht dieser allein proportional. Es sey demnach AMN diejenige Linie, in welcher alle in ihr liegende Fig. 114.
Wassertheilchen einen gleichen Druck erleiden. Im ruhigen Wasser ist diese eine gerade und horizontale, im bewegten eine Curve, für welche die Gleichung gesucht werden mufs. Da sich ein gegebenes Wassertheilchen zugleich in dieser Curve bewegen und daher der Druck der umgebenden Wasertheilchen gegen das in dieser Bahn bewegte von allen Seiten gleich seyn mufs, so kommt zuerst das Gewicht desselben in Betrachtung, welches ∂M heifsen möge. Zieht man durch den höchsten Punct A der Bahn die Horizontale AQ, durch M, wo sich dasselbe befinden möge, die Lothrechte MP, so ist AM der wirklich zurückgelegte Raum, welchem die Horizontale AP und die Senkrechte PM zugehören. Es sey dann

$$AM = s; \quad AP = x; \quad PM = y,$$
$$MN = \partial s; \quad PQ = \partial x; \quad ON = dy,$$

und die Geschwindigkeit des Theilchens in seiner Bahn $= v$, so ist die horizontale Geschwindigkeit desselben $= v \frac{\partial x}{\partial s}$, die senkrechte $= v \frac{\partial y}{\partial s}$. Ebenso zerfällt die Kraft der Schwere $MC = \partial M$ in $MD = \partial M \frac{\partial y}{\partial s}$, welche das Theilchen in der Richtung seiner Bahn beschleunigt, und in $ME = \partial M \frac{\partial x}{\partial s}$,

[1] Theorie der Wellen sammt einer daraus abgeleiteten Theorie der Deichprofile, von Franz Gerstner, k. k. Prof. d. höheren Mathematik. Prag 1804. Abhandl. der kön. böhmischen Ges. der Wissensch. zu Prag für d. Jahr 1802. G. XXXII. 412.

welche auf die Richtung der Bahn senkrecht ist und daher die Bewegung weder beschleunigt noch verzögert. Durch die erstere Kraft $MD = \partial M \frac{\partial y}{\partial s}$ wird die Geschwindigkeit v des Theilchens während der Zeit ∂t um ∂v vermehrt, und wenn dann die Fallgeschwindigkeit in einer Secunde $2g$ genannt wird[1], so ist die in dt erhaltene Geschwindigkeit $= 2g\partial t$. Setzt man die Kräfte den Wirkungen proportional, so ist

$$\partial M : 2g\partial t = \partial M \frac{\partial y}{\partial s} : v, \text{ alſo } \partial v = 2g\partial t \frac{\partial y}{\partial s},$$

oder, wegen $\frac{\partial s}{\partial t} = v$,

$$v\partial v = 2g\partial y \text{ und integrirt: } v^2 = 4gy + C.$$

Zur Bestimmung der Constante werde die Geschwindigkeit des Theilchens A durch c und die dieser zugehörige Fallhöhe $\frac{c^2}{4g}$ durch h ausgedrückt, wodurch man erhält:

$$v^2 = c^2 + 4gy = c^2 \left(\frac{h+y}{h}\right) \ldots\ldots (A).$$

Die zweite Kraft ME, womit das Wassertheilchen senkrecht auf seine Bahn drückt, wird durch die Fliehkraft vermindert, womit es in der Tangente MD seiner Bahn sich zu bewegen strebt oder der Trägheit gemäſs sich von seiner Bahn entfernen müſste. Es werde demnach der Krümmungshalbmesser des Bogens MN durch r bezeichnet, so ist die Schwungkraft des Wassertheilchens $= \partial M \frac{v^2}{2gr}$, mithin der Druck des Wassertheilchens gegen seine Bahn $= \partial M \left(\frac{\partial x}{\partial s} - \frac{v^2}{2gr}\right)$. Für das Wassertheilchen dM ist die Linie MN die Grundlinie, und wenn daher sein Druck auf die Bahn mit $MN = \partial s = v\partial t$ dividirt wird, so erhält man das Element der Wassersäule, womit jeder Punct der Linie MN beschwert ist, $= \frac{\partial M}{v\partial t}\left(\frac{\partial x}{\partial s} - \frac{v^2}{2gr}\right)$. Diese Wassersäule ist aber für alle Puncte der Linie AMN beständig und wenn daher der Krümmungshalbmesser für den

1 Hier ist 2g in der älteren Bedeutung gebraucht, statt daſs man neuerdings diese Gröſse durch g bezeichnet.

Ort A durch k bezeichnet wird, so giebt dieses die Gleichung

$$\frac{\partial M}{v \partial t}\left(\frac{\partial x}{\partial s} - \frac{v^2}{2gr}\right) = \frac{\partial M}{c \partial t}\left(1 - \frac{c^2}{2gk}\right), \text{ oder}$$

$$\frac{\partial x}{\partial s} - \frac{v^2}{2gr} = \frac{v}{c}\left(1 - \frac{2h}{k}\right).$$

Hierin den bekannten Werth des Krümmungshalbmessers $= -\dfrac{\partial y}{\partial . \dfrac{\partial x}{\partial s}}$

gesetzt und alle Glieder mit ∂v dividirt, giebt

$$\partial v \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{v^2 \partial v}{2g \partial y} . d \frac{\partial x}{\partial s} = \frac{v \partial v}{c}\left(1 - \frac{2h}{k}\right).$$

Es ist aber $v \partial v = 2g \partial y = \dfrac{c^2 \partial y}{2h}$. Werden diese Werthe in die Gleichung und $\dfrac{1}{2h} - \dfrac{1}{k} = \dfrac{1}{m}$ gesetzt, so wird

$$\partial v \frac{\partial x}{\partial s} + v . \partial \frac{\partial x}{\partial s} = c \partial y \left(\frac{1}{2h} - \frac{1}{k}\right) = \frac{c \partial y}{m}.$$

Das Integral dieser Gleichung ist

$$v \frac{\partial x}{\partial s} = \frac{cy}{m} + C,$$

und weil für den höchsten Punct A der Bahn $v = c$; $\partial x = \partial s$; $y = 0$ ist, so ist die Constante $C = c$, und also die horizontale Geschwindigkeit des Wassertheilchens oder

$$v . \frac{\partial x}{\partial s} = c . \left(1 + \frac{y}{m}\right) \; \ldots\ldots\ldots \text{(B)}.$$

Diese Gleichung auf das Quadrat erhoben und $\partial s^2 - \partial y^2$ statt ∂x^2 gesetzt giebt

$$v^2 - \frac{v^2 \partial y^2}{\partial s^2} = c^2 + \frac{2c^2 y}{m} + \frac{c^2 y^2}{m^2}$$

und da (nach A) $v^2 = c^2 + \dfrac{c^2 y}{h}$ ist, so ergiebt sich nach den nöthigen Reductionen die senkrechte Geschwindigkeit des Wassertheilchens oder

$$v \frac{\partial y}{\partial s} = c \sqrt{\left(\frac{2y}{k} - \frac{y^2}{m^2}\right)} \; \ldots\ldots \text{(C.)}$$

Hieraus folgt 1) daſs die senkrechte Bewegung verschwindet für $y = 0$ und für $y = \dfrac{2m^2}{k}$, und die Höhe der Welle ist also $BE = \dfrac{2m^2}{k}$. 2) Daſs die Geschwindigkeit am gröſsten Fig. 115.

ist für $y = \frac{m^2}{k} = \frac{1}{2}$ BE, oder in der Mitte der Welle zwischen ihrem niedrigsten und höchsten Puncte. 3) Dafs die Geschwindigkeit der Welle mit der Tiefe y zunimmt, also im Puncte A am kleinsten, im Puncte B am gröfsten, oder in A gleich c, in B gleich $c\left(1 + \frac{2m}{k}\right) = c\left(\frac{k+2h}{k-2h}\right)$. Die Zeit, in welcher das Theilchen von A nach M gelangt, ergiebt sich am einfachsten aus der Gleichung (C), denn man erhält aus ihr

$$\frac{\partial s}{v} = \frac{\partial y}{c\sqrt{\left(\frac{\partial y}{k} - \frac{y^2}{m^2}\right)}} = \partial t.$$

Um diese Gleichung zu integriren, setze man $1 - \frac{ky}{m^2} = \cos.\varphi$, dann ist $y = \frac{m^2}{k}(1 - \cos.\varphi)$, und $\partial y = \frac{m^2}{k}\partial\varphi \sin.\varphi$, also nach gehörigen Reductionen

$$\partial t = \frac{m\,\partial\varphi}{c}, \text{ folglich die Zeit } t = \frac{m}{c}\varphi \;\ldots\ldots\; (D).$$

Zieht man um den Durchmesser EB, welcher die Höhe der Welle $= \frac{2m^2}{k}$ bezeichnet, den Kreis ERB, und durch M die Horizontale MS, welche diesen Kreis in R schneidet, so ist $\cos.ECR = \frac{CS}{CR} = \frac{CE\text{-}SE}{CR} = \left(\frac{m^2}{k} - y\right) : \frac{m^2}{k} = 1 - \frac{ky}{m^2} = \cos.\varphi$; folglich ist der Winkel $ECR = \varphi$, und die Zeiten, in denen das Theilchen von A nach M und B gelangt, verhalten sich wie die Bogen ER und ERB. Wird der obige Werth von $y = \frac{m^2}{k}(1 - \cos.\varphi)$ in die Gleichungen B und C gesetzt, so erhält man für die horizontale Geschwindigkeit

$$\frac{v\,\partial x}{\partial s} = \frac{cm}{2h} - \frac{cm}{k}\cos.\varphi \;\ldots\ldots\ldots\; (E)$$

und für die senkrechte

$$\frac{v\,\partial y}{\partial s} = \frac{cm}{k}\sin.\varphi \;\ldots\ldots\ldots\; (F).$$

Die Gleichung für die Bahn AMB findet man auf folgende Weise. Die Gleichung (E) giebt

$$\partial x = \left(\frac{cm}{2h} - \frac{cm}{k}\cos.\varphi\right)\frac{\partial s}{v}.$$

Weil aber $\frac{\partial s}{v} = \partial t = \frac{m}{c}\partial\varphi$ ist, so wird

$$\partial x = \frac{m^2}{2h}\partial\varphi - \frac{m^2}{k}\cos.\varphi\partial\varphi,$$

also da keine Constante hinzukommt, weil für den Punct A sowohl x als auch φ verschwindet,

$$x = \frac{m^2}{2h}\varphi - \frac{m^2}{k}\sin.\varphi.$$

Man hat also für die Curve AMB die zwei Gleichungen:

$$y = \frac{m^2}{k}(1 - \cos.\varphi) = \frac{m^2}{k}\left(1 - \cos.\frac{ct}{m}\right) \ldots\ldots (G)$$

$$x = \frac{m^2}{2h}\varphi - \frac{m^2}{k}\sin.\varphi = \frac{mct}{2h} - \frac{m^2}{k}\sin.\frac{ct}{m} \ldots\ldots (H),$$

woraus sich für jede beliebige Zeit t sowohl die Tiefe y, als auch der horizontale Weg x jedes Wassertheilchens berechnen läſst, wenn für den höchsten Punct seiner Bahn die Geschwindigkeit c und der Krümmungshalbmesser k gegeben sind.

36) Es folgt aus diesen Gleichungen, daſs die Curven der Wellen Cykloiden sind. Es sey der Halbmesser des auf der Linie ID fortgewälzten Kreises IO = a, die Entfernung AO des Stiftes, welcher die Curve beschreibt, vom Mittelpuncte = b. Ist der Kreis von I bis D gewälzt, so befindet sich der Punct I in i, der Stift A in M, und der Winkel DCi sey φ. Es ist dann $SV = ID = iD = a\varphi$; $MV = b\sin.\varphi$; $CV = b\cos.\varphi$, also $PM = GC - CV$, oder $y = b - b\cos.\varphi$ und $AP = SV - MV$, oder $x = a\varphi - b\sin.\varphi$. Vergleicht man diese Gleichungen mit den oberen (G) und (H), so ist der Halbmesser des Kreises $IO = a = \frac{m^2}{2h}$, und die Entfernung des die Curve beschreibenden Stiftes vom Mittelpuncte oder $AO = b = \frac{m^2}{k}$. Aus der Gleichung $a = \frac{m^2}{2h}$ folgt $m = \sqrt{2ah} = c\sqrt{\frac{a}{2g}}$, und dieser Werth in die Gleichung (D) gesetzt giebt die Zeit $t = \varphi\sqrt{\frac{a}{2g}}$, und wenn dann

π das Verhältniſs des Kreises zum Durchmesser bezeichnet, so ist

$$\text{die Zeit einer Welle } t = \pi \sqrt{\frac{a}{2g}}.$$

Fig. 115. In dieser Zeit gelangt das Wasser vom Gipfel A einer Welle bis zum Gipfel der nächst folgenden, und sie ist bloſs vom Durchmesser des Kreises $= 2a$ oder von der Breite der Welle $= 2AE = 2a\pi$ ohne einen Einfluſs der Tiefe abhängig. Hieraus folgt:

1) Wellen von einerlei Breite werden in gleichen Zeiten beschrieben, ihre Höhe sey groſs oder klein.

2) Da $\sqrt{\frac{2a\pi}{g}}$ der Ausdruck der Zeit ist, in welcher ein Körper von der Höhe $2a\pi$ herabfällt, so verhält sich die Zeit einer Welle zur Zeit, in welcher ein Körper durch die Breite der Welle ($2a\pi$) herabfällt, wie $\sqrt{\pi}$ zu 1.

3) Die Länge des einfachen Secundenpendels, welches in einer mit dem Halbmesser a beschriebenen Cykloide schwingt, ist $= 4a$, und daher ist die Länge eines mit der Welle gleichzeitig schwingenden Pendels doppelt so groſs, als der Halbmesser des die Wellencykloide beschreibenden Rades, oder diese Pendellänge $= 4a$ verhält sich zur Breite der Wellen $= 2\pi a$, wie der Durchmesser eines Kreises 2 zu seiner halben Peripherie π. Nach Newton ist diese Pendellänge der Wellenbreite beinahe gleich (§. 27).

4) Wird die Breite der Welle $2a\pi$ mit der Zeit $\pi\sqrt{\frac{2a}{g}}$, in welcher sie beschrieben wird, dividirt, so ergiebt sich die mittlere Geschwindigkeit des Wassers $= \sqrt{2ag}$, welche v heiſsen möge. Die Geschwindigkeiten der Wellen verhalten sich daher, wie die Quadratwurzeln ihrer Breiten, was mit Newton's Ansicht übereinstimmt (§. 27).

37) Um die Gleichungen für die Cykloide leichter zu übersehen, sucht Gerstner die Ausdrücke der Gröſsen m, $\frac{m}{2h}$, $\frac{m}{k}$, $\frac{m}{c}$ in Functionen von a und b, und substituirt diese

in den Gleichungen D, E, F, G, H. Die Gleichungen $a = \frac{m^2}{2h}$ und $b = \frac{m^2}{k}$ geben

$$a - b = m^2 \left(\frac{1}{2h} - \frac{1}{k}\right) = m,$$

weil $\frac{1}{2h} - \frac{1}{k} = \frac{1}{m}$ gesetzt ist. Hieraus wird

$$\frac{m}{2h} = \frac{a}{m} = \frac{a}{a-b} \text{ und}$$

$$\frac{m}{k} = \frac{b}{m} = \frac{b}{a-b}.$$

Die Gleichungen $c = 2\sqrt{gh}$ und $m = \sqrt{2ah}$ geben

$$\frac{cm}{2h} = \sqrt{2ag} = v.$$

Diese Werthe substituirt wird

die Zeit $t = \frac{a\varphi}{v}$, oder der Winkel $\varphi = \frac{tv}{a}$ . . . . (I)

die horizontale Geschwindigkeit $v\frac{\partial x}{\partial s} = v\left(1 - \frac{b}{a}\cos.\varphi\right)$ . . (K)

die senkrechte Geschwindigkeit $v\frac{\partial y}{\partial s} = v\,\frac{b}{a}\sin.\varphi$ . . . . . . (L)

der horizontal durchlaufene Raum $x = a\varphi - b\sin.\varphi$ . . . (M)

der lothrecht durchlaufene Raum $y = b\sin.\text{vers.}\,\varphi$ . . . . (N)

Der Mittelpunct des beschreibenden Rades O durchläuft während der Zeit t den Raum $OC = ID = iD = a\varphi = tv$ . . . (O) Fig. 116.

daher die Geschwindigkeit desselben $= \frac{a\varphi}{t} = v$ . . . (P).

Hiernach haben die in der Wellenbewegung befindlichen Wassertheilchen eine horizontale Bewegung $a\varphi = tv$, welche veränderlich und allen Wassertheilchen gemein ist, und eine Kreisbewegung, wofür die Ausdrücke $b\sin.\varphi$ und $b\sin.\text{vers.}\,\varphi$, oder aber $b\sin.\frac{tv}{a}$ und $b\sin.\text{vers.}\frac{tv}{a}$ gelten. Jedes Wassertheilchen dreht sich im Kreise um einen Mittelpunct, welcher selbst horizontal mit der Geschwindigkeit v fortschreitet. Beide Bewegungen sind gleichförmig, und nur durch ihre Vereinigung erzeugen sie die an den Wellen sichtbaren Ungleichheiten.

38) Ein einfaches Pendel, dessen Länge sich zur doppelten Breite der Welle so verhält, wie der Durchmesser eines Kreises zu seinem Umfange, schwingt in eben der Zeit, in welcher das Wasser seine ganzen Kreise zurücklegt, oder in welcher dasselbe vom Gipfel einer Welle zum Gipfel der andern gelangt. Die Durchmesser dieser Kreise sind an der Oberfläche der Wellenhöhe gleich, unterhalb nehmen sie im geometrischen Verhältnifs ab, wie aus dem Folgenden hervorgeht.

Fig. 117. Es seyen AMN, amn die Wege, welche zwei zunächst bei einander fliefsende Theilchen unter der Oberfläche des Wassers durchlaufen, und BC, bc die Wege ihrer Mittelpuncte. Für das erste Wassertheilchen sey der höchste Punct seiner Bahn A, der Mittelpunct seiner Kreisbewegung lothrecht darunter B, für das zweite Wassertheilchen seyen beide in a und b, so dafs alle vier Puncte A, B, a, b sich in der gemeinschaftlichen Senkrechten Gb befinden. Nach Verlauf der Zeit t mögen beide Mittelpuncte B und b nach C und c gekommen seyn. Weil sich die Mittelpuncte mit gleicher Geschwindigkeit v bewegen, so ist $BC = bc = tv = a\varphi$, und die Linie UCc ist gleichfalls senkrecht. Macht man die Winkel $UCM = Ucm = \varphi$, und die Halbmesser $CM = BA$, $cm = ba$, so sind die Wassertheilchen A und a in der Zeit t nach M und m gelangt. Da die Wassertheilchen nicht aus ihren Bahnen treten, so können die Wege AMN, amn als zwei Ufer gedacht werden, zwischen denen das eingeschlossene Wasser fortfliefst. Durch alle Querschnitte, die wir auf beide einander unendlich nahe liegende Ufer senkrecht annehmen, müssen daher in gleicher Zeit gleiche Wassermengen fliefsen, und sonach die Producte aus jedem Querschnitt (me) in die Geschwindigkeit (v), womit das Wasser durch denselben fliefst, einander gleich seyn, was zugleich aus der geringen Zusammendrückbarkeit des Wassers folgt.

Um die Gröfse des Querschnittes me auszudrücken, sey das mit den Mittelpuncten der Kreisbewegungen sich gleichmäfsig bewegende Wassertheilchen der Oberfläche in U, folglich $GU = BC = bc$; die Tiefe UC sey u und $Cc = \partial u$, die Halbmesser der Kreisbewegungen seyen $MC = z$, $mc = z - \partial z$. Man ziehe moi parallel zu cCU, so ist $Mo = mc - MC = -\partial z$, und weil $Moi = MCU = \varphi$, so ist $Mi = -\partial z \sin. \varphi$, $oi = -\partial z \cos. \varphi$. Der Raum, welchen der Punct M in der

Zeit ∂t zurücklegt, sey $MN = \partial s$, folglich $MO = \partial x$ und $ON = dy$, und man hat dann wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke Mir und MON

$$ir = Mi \frac{ON}{MO} = - \partial z \sin. \varphi \frac{\partial y}{\partial x}.$$

Hieraus folgt

$$mr = mo + oi - ir = \partial u - \partial z \cos. \varphi + \partial z \sin. \varphi \frac{\partial y}{\partial x}.$$

Weil aber zugleich das Dreieck emr dem Dreieck OMN ähnlich ist, so erhält man $me = mr \frac{OM}{MN}$, und also den Querschnitt

$$me = (\partial u - \partial z \cos. \varphi) \frac{\partial x}{\partial s} + \partial z \sin. \varphi \frac{\partial y}{\partial s}.$$

Die Wassermenge, welche in jeder Secunde durch den Querschnitt me fliefst, ist $= me.v = (\partial u - \partial z \cos. \varphi) \frac{v \partial x}{\partial s} + dz \sin. \varphi \frac{v \partial y}{\partial s}$.

Es war aber (nach K und L) $\frac{v \partial x}{\partial s} = v \left(1 - \frac{b}{a} \cos. \varphi\right)$ und $\frac{v \partial y}{\partial s} = v \frac{b}{a} \sin. \varphi$. Diese Werthe substituirt und statt des Halbmessers der Kreisbewegung b die unbestimmte Benennung desselben $= z$ genommen giebt die Wassermenge

$$me.v = v \left(\partial u - \partial z \cos. \varphi - \frac{z}{a} \cos. \varphi \, \partial u + \frac{z \partial z}{a}\right) \ldots (Q).$$

Dieser Ausdruck mufs für alle Puncte der Bahn AMN derselbe seyn, er darf also vom Winkel φ nicht abhängen, und die mit $\cos. \varphi$ multiplicirten Glieder müssen für sich verschwinden. Daher ist

$$a \partial z + z \partial u = 0 \text{ und } a \text{ Log. } z + u = \text{Const.}$$

Für die Oberfläche des Wassers sey der Halbmesser der Kreisbewegung oder die halbe Höhe der Welle $= b$, und da dann für $u = 0$ die Gröfse $z = b$ wird, so ist

$$a \text{ Log. } b = \text{Const. und } \frac{z}{b} + \frac{u}{a} = 0.$$

Heifst dann die Grundzahl der natürlichen Logarithmen e, so hat man

$$z = b e^{-\frac{u}{a}} \ldots\ldots\ldots\ldots (R).$$

Werden folglich die Tiefen in einer arithmetischen Reihe

0, u, 2u, 3u.... genommen, so gehören dazu die Halbmesser der Kreisbewegung b, $be^{-\frac{u}{a}}$, $be^{-\frac{2u}{a}}$, $be^{-\frac{3u}{a}}$ ..... welche eine geometrische Reihe bilden. Wird endlich der Werth $du = -\frac{a\partial z}{z}$ in die Gleichung Q gesetzt, so ergiebt sich das Element der Wassermenge, welche durch jeden Querschnitt me fliefst,

$$= v\left(\partial u + \frac{z\partial z}{a}\right) = -v\left(\frac{a^2 - z^2}{az}\right)\partial z \;.\;.\;.\;.\;.\; (S).$$

39) Diesem gemäfs läfst sich die Wellenbewegung durch Construction anschaulich machen. Für die Oberfläche des Wassers ist $b = a$, in diesem Falle also die horizontale Bewegung der Kreisbewegung gleich, und die Wellenlinie
Fig. 118. ABCDEFGHIKLMA wird eine gemeine Cykloide; der Mittelpunct der Kreisbewegung durchläuft die horizontale Linie NO, und die Höhe der Welle ist $AP^2 = 2OG = 2a$. Unter der Oberfläche des Wassers sind die Tiefen der Mittelpuncte O^1, O^2, O^3..... in arithmetischer Progression genommen, nämlich $OO^1 = \frac{1}{2}a$, $OO^2 = a$, $OO^3 = \frac{3}{2}a$..... Die Halbmesser der Kreisbewegung, welche diesen Tiefen zugehören, sind demnach $O^1G^1 = \frac{a}{\sqrt{e}} = 0{,}6065\ a$, $O^2G^2 = \frac{a}{e} = 0{,}3679\ a$, $O^3G^3 = \frac{a}{e\sqrt{e}} = 0{,}2231\ a$, $O^4G^4 = \frac{a}{ee} = 0{,}1353$...... Die Kreise, welche mit diesen Halbmessern aus den Mittelpuncten O, O^1, O^2, O^3, O^4.... beschrieben sind, zeigen sowohl die eigentliche Gröfse der Kreisbewegungen, die auf jedem Puncte der Horizontalen NO, N^1O^1, N^2O^2, N^3O^3.... vorgehen, als auch ihre verhältnifsmäfsige Abnahme der Tiefe.

Gerstner theilt ferner die Peripherieen der Kreise in zwölf Theile, und bestimmt für jeden zwölften Theil die Puncte B, C, D, E.... B^1, C^1, D^1, E^1.... B^2, C^2, D^2, E^2 auf die (§. 38) angegebene Weise. Diesemnach sind AB, BC, CD.... A^1B^1, B^1C^1, C^1D^1,.... A^2B^2, B^2C^2, C^2D^2.... die Räume, welche von den Puncten A, A^1, A^2.... in gleichen Zeiten zurückgelegt werden, und die Linien $AA^1A^2A^3$.... $BB^1B^2B^3$.... $CC^1C^2C^3$.... zeigen die Orte, in denen

sich die Puncte der Senkrechten A A^1 A^2 A^3.... nach gleichen Zeiträumen befinden. Man ersieht hieraus, dafs die gröfste Verschiebung der Wassertheile an der Oberfläche statt findet und die Bewegung des Wassers in zunehmender Tiefe sich bald der Gleichförmigkeit nähert, was mit der Erfahrung der Taucher übereinstimmt[1]. Der Umstand, dafs die Wellen auf der Oberfläche selten eine gemeine, meistens eine gestreckte Cykloide bilden, erfordert keine Veränderung der Zeichnung, denn es kann für die Oberfläche des Wassers irgend eine der Linien $A^1 B^1 C^1 D^1$ .... $A^2 B^2 C^2 D^2$ u. s. w. genommen werden, und die Bewegung des Wassers unter dieser Oberfläche bleibt dann immer die dargestellte.

Wird u negativ genommen oder die Bewegung des Wassers oberhalb der gemeinen Cykloide untersucht, so ergiebt sich der Halbmesser der Kreisbewegung

$$z = a e^{\frac{u}{a}},$$

mithin gröfser als a. Für diesen Fall wäre die Kreisbewegung gröfser, als die fortschreitende, und die Wellenlinie eine gedrückte Cykloide, wie die punctirte in der Figur für $u = \frac{1}{4}$ a. An sich scheint es nicht unmöglich, dafs die Kraft, welche die Kreisbewegung des Wassers hervorbringt, sie auch gröfser machen könne, als die fortschreitende Bewegung desselben ist; auch kommt dieses vor, wenn das Wasser an den Wellengipfeln sich kräuselt. Allein wenn man $e^{\frac{u}{a}}$ in die bekannte Reihe auflöst, so erhält man

$$z = a + u + \frac{u^2}{2a} \ldots, \text{ folglich}$$

$$OG = z - u = a + \frac{u^2}{2a} \ldots$$

Folglich müfste OG gröfser als a seyn, und daher das Wasser in einem Theile seiner Bahn sich unterhalb der Oberfläche, welche die Cykloide AGO beschreibt, bewegen. Allein dieses steht mit der Undurchdringlichkeit der Körper im Widerspruche. Am Gipfel der Welle müfste umgekehrt eine negative Undurchdringlichkeit, oder eine Anziehung vorhanden seyn, um die

1 Man weifs jetzt, dafs diese Angabe falsch ist. Vergl. Art. *Meer.* Bd. VI. S. 1742.

Zerstreuung der Wassertheilchen zu hindern und sie in der cykloidischen Bahn gehörig umzubiegen, welches mit der Flüssigkeit des Wassers und der gemeinen Erfahrung im Widerspruche steht. Kräuselnde Wellen befinden sich demnach aufser dem Beharrungszustande, welcher allein sich zur Berechnung eignet, und sie müssen daher von der Theorie ausgeschlossen werden.

40) Da die hier gegebene Theorie der Wellen auf der Gleichheit des hydrostatischen Druckes beruhet, so geht hieraus hervor, dafs alle Bewegungen des Wassers, welche diesen hydrostatischen Druck nicht ändern, auch die Wellenbewegung nicht stören. Es können sich daher mehrere Wellen von verschiedener Gröfse und nach verschiedenen Richtungen laufend einander durchkreuzen und jede einzeln ihre Bewegung ungestört fortsetzen, woraus die mannigfaltigen, auf der Oberfläche des Wassers sich zeigenden Erhöhungen erklärbar werden.

Es ist bei dieser Theorie vorausgesetzt worden, dafs die ganze, in Wellenbewegung befindliche Wassermasse ruhe und also die Gipfel der Wellen stets auf der nämlichen Stelle bleiben. Inzwischen sieht man leicht, dafs die Gestalt der Wellen und alles, was über die Kreisbewegung des Wassers angeführt ist, auch dann statt findet, wenn das gesammte Wasser noch irgend eine gemeinschaftliche Bewegung hat, denn dadurch wird nur die fortschreitende Bewegung der Mittelpuncte der Kreisbewegung anders bestimmt; die Kreisbewegung selbst, die Gröfse der Halbmesser und die Umlaufszeit bleiben dieselben. Angenommen also, das gesammte Wasser habe aufser der Geschwindigkeit v noch die Geschwindigkeit $\pm$ w, so ist die Geschwindigkeit, womit die Wellengipfel auf der Oberfläche des Wassers fortlaufen, $= \pm$ w, unddie Geschwindigkeit der Mittelpuncte $= v \pm w$. Jedes Wassertheilchen beschreibt also in der Zeit t den horizontalen Raum

$$x = (v \pm w)\, t - z \sin. \frac{t v}{a} = \left(1 \pm \frac{w}{v}\right) a \varphi - z \sin. \varphi,$$

wobei der senkrechte Raum $y = z$ sin. vers. φ und der Halbmesser der Kreisbewegung $z = b e^{-\frac{u}{a}}$ dieselben wie in (N) und (R) bleiben. Sind w und v einander gleich und entgegengesetzt, wie meistens auf stehenden Gewässern, so hat man

$$x = - z \sin. \varphi, \quad y = z \sin. vers. \varphi,$$

und die ganze Bewegung eines Wassertheilchens ist

$$z \varphi = z \frac{t v}{a} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (T).$$

In diesem Falle beschreiben die Wassertheilchen nur Kreise, deren Mittelpuncte ruhen; sie haben keine horizontale fortschreitende Bewegung, sondern kommen in ihren kreisförmigen Bahnen stets wieder auf dieselbe Stelle zurück. Die Gipfel der Wellen aber laufen auf der Oberfläche des Wassers mit der Geschwindigkeit $w = v = \sqrt{2ag}$ fort, die Richtung dieser scheinbaren Bewegung ist die nämliche mit der Richtung des Wassers auf den Gipfeln der Wellen, aber im Thale zwischen zwei Wellenhöhen ist die Bewegung des Wassers der Bewegung der Wellen entgegengesetzt Hieraus wird begreiflich, wie die Winde die Wellen vor sich her treiben, ohne daſs das Wasser seinen Ort merklich ändert. Ist demnach die Dauer einer Welle, d. h. die Zeit, in welcher ein schwimmender Körper vom Gipfel der einen Welle auf den der andern gelangt, durch Beobachtung bestimmt, so läſst sich hieraus die Breite der Wellen und der Raum, welchen ihre Gipfel in gegebener Zeit zurücklegen, finden. Es sey die Dauer einer Welle in Secunden $= \tau$, so ist (§. 36) $\tau = \pi \sqrt{\frac{2a}{g}}$, und wenn $g = 15{,}09$ Par. Fuſs gesetzt wird:

$$\text{die Breite der Wellen } B = 2a\pi = g \frac{\tau^2}{\pi} = 0{,}801 \, \tau^2,$$

$$\text{die Geschwindigkeit der Wellen } w = v = \frac{2a\pi}{v} = 0{,}801 \, \tau.$$

Es ist also der Raum, welchen eine Welle in einer Stunde zurücklegt, $= 2883{,}5 \, \tau$ Toisen, und Wellen, deren Dauer z. B. 2 Sec. beträgt, verbreiten sich in 10 Stunden durch einen Grad oder 15 geogr. Meilen. Ist die beobachtete Geschwindigkeit hiervon verschieden, so zeigt der Unterschied die wirkliche Bewegung des Wassers.

Aus der vorgetragenen Theorie folgt, daſs die Breite nebst der Höhe der Wellen und die wirkliche Bewegung des Wassers drei von einander unabhängige Gröſsen sind, die durch die Beobachtung bestimmt werden müssen, aber die Dauer einer

Welle τ und ihre Breite B stehen in einem Verhältniſs, welches durch die Gleichung

$$B\pi = g\tau^2$$

gegeben ist. Heiſst dann die absolute Geschwindigkeit des Wassers A, so ist die Geschwindigkeit der Wellen

$$\pm w = A - g\frac{\tau}{\pi} = A - \sqrt{\frac{Bg}{\pi}}.$$

Hieraus läſst sich die Geschwindigkeit des Wassers berechnen, wenn die Geschwindigkeit und die Dauer oder die Breite der Wellen gegeben sind.

41) Die Erhöhung der Mittelpuncte der Kreisbewegung verdient noch eine besondere Betrachtung. Die Gleichungen M und N geben das Element der Fläche

Fig. 115. $$PMNQ = y\,\partial x = b\,(1 - \cos.\varphi)\,(a - b\cos.\varphi)\,\partial\varphi.$$

Hieraus folgt die Fläche

$$APM = \int y\,\partial x = ab\varphi - b\,(a + b)\sin.\varphi + \frac{b^2}{2}(\varphi + \sin.\varphi\cos.\varphi).$$

Wird $\varphi = 2\pi$ gesetzt, so ist die Fläche der gestreckten Cykloide

$$2AMBE = (2ab + b^2)\,\pi,$$

die doppelte Fläche

$$2ADBE = 2AE\,.\,EB = 2a\pi\,.\,2b.$$

Demnach ist der Inhalt einer Welle

$$2\,(ADBE - AMBE) = (2a - b)\,b\pi.$$

Bei ruhigem Wasser steht dieser Inhalt über der Linie 2DB ($= 2a\pi$) durchaus gleich hoch, seine Höhe ist daher

$$\frac{(2a - b)\,b\pi}{2a\pi} = b - \frac{b^2}{2a}.$$

Wird diese Höhe mit der Höhe der Mittelpuncte der Wellen $= b$ verglichen, so ergiebt sich, daſs die Höhe der Mittelpuncte um $\frac{b^2}{2a}$ gröſser ist, als die Oberfläche des ruhigen Wassers. Für die gemeine Cykloide ist $b = a$, folglich wird diese Erhöhung $= \frac{1}{2}a$ oder so groſs, als der vierte Theil der Höhe der Wellen. Für die Wellenlinien unter der Oberfläche des Wassers gilt die nämliche Rechnung, wenn man statt b den Halbmesser z oder $be^{-\frac{u}{a}}$ setzt. Hieraus folgt, daſs für die Wellenbewegung die sämmtlichen Wassertheile nicht nur die Kreisbewegung, sondern auch eine Erhöhung annehmen müssen.

Die Wassersäule, welche das Maſs des hydrostatischen Druckes für jedes Wassertheilchen giebt, findet sich auf folgende Weise. Das Element der Wassermenge, welche in jeder Secunde durch den Querschnitt me flieſst, war (nach S) = Fig. 117 u. 118.
$v\left(\partial u + \frac{z\partial z}{a}\right)$, und sonach ist die ganze Wassermenge, welche in jeder Secunde durch den Querschnitt AA^n oder GG^n (wobei statt n jede der in der Figur enthaltenen Zahlen gesetzt werden kann) flieſst, $= v\left(u + \frac{z^2 - b^2}{2a}\right)$. Wird diese mit der mittleren Geschwindigkeit des Wassers = v dividirt, so erhält man die Wassersäule, womit jeder Punct der Linie $A^n B^n C^n D^n \ldots$ beschwert ist, $= u + \frac{z^2 - b^2}{2a}$. Im ruhigen Wasser sind die Halbmesser der Kreisbewegungen b und $z = 0$, wodurch der Druck der Wassersäule, übereinstimmend mit den hydrostatischen Gesetzen, = u wird. Setzt man für eine beträchtliche Tiefe $z = 0$, so ist daselbst der Druck der Wassersäule $= u - \frac{b^2}{2a}$, und da sich oben ergab, daſs die Mittelpuncte der Wellen auf der Oberfläche des Wassers gleichfalls um $\frac{b^2}{2a}$ höher stehen, als das ruhige Wasser, so folgt hieraus, daſs die Wellenbewegung den hydrostatischen Druck des Wassers in der Tiefe nicht ändert.

42) Gerstner setzt noch folgende Betrachtungen hinzu. Da es bei dieser Demonstration zugleich auf eine leichte Darstellung abgesehn war, so ist zuerst nur der einzelne Fall erörtert, wenn die fortschreitende Bewegung des Wassers so beschaffen ist, daſs die Gipfel der Wellen auf der Oberfläche des Wassers nicht fortlaufen. Dieses kann aber nur auf einem tiefen Wasser statt finden, welches sich mit derselben Geschwindigkeit den Wellen entgegen bewegt, womit deren Gipfel auf dem ruhenden Wasser fortlaufen würden. Wird dagegen die Bewegung der Wellen von der des Wassers unabhängig und für sich allein betrachtet, so muſs das Wasser ohne fortschreitende Bewegung angenommen und in der allgemeinen Theorie (§. 40) $v - w = 0$ gesetzt werden. Für diesen Fall ergab sich, daſs die Wassertheile nur Kreise, und zwar mit gleichförmiger Bewegung, beschreiben. Die Halbmesser dieser Kreise giebt die

Gleichung $z = b e^{-\frac{u}{a}}$, und die Winkelgeschwindigkeit ist $\frac{v}{a} = \sqrt{\frac{2g}{a}} = \frac{\pi}{v}$. Aus der Gleichung $v - w = 0$ folgt übrigens von selbst, daſs die Geschwindigkeit der Wellen der angenommenen Geschwindigkeit des Wassers v gleich sey, und daſs sonach die Sätze, welche oben von der Geschwindigkeit des Wassers angeführt wurden, in diesem letztern Falle den Wellen allein zukommen. Dieses findet auf stehenden Wassern statt, und auch bei flieſsenden kann angenommen werden, daſs die ganze Wellenbewegung des stehenden Wassers mit der Geschwindigkeit des Stromes fortgetragen werde.

Fig. 119. Um dieses zu erläutern, seyen ABCDEF und HIKLMN zwei Kreise, von den zwei auf der Oberfläche des Wassers befindlichen Wassertheilchen A und H beschrieben. Es werden diese Kreise, und ebenso die Zeiten, in denen die Wassertheilchen sie durchlaufen, in beliebige, hier in acht Theile getheilt. Im ersten Zeittheilchen befinden sich die Wassertheilchen A und H in der Wellenlinie PAH, welche für diesen Augenblick die Oberfläche des Wassers vorstellt. Während des ersten Zeittheilchens geht das Theilchen A nach B, das Theilchen H nach I, und beide befinden sich in der Wellenlinie SBI, welche die Oberfläche des Wassers für den Augenblick der zweiten Zeitabtheilung vorstellt. Dann geht das Theilchen B nach C und befindet sich auf dem Gipfel der Welle, das Theilchen I aber nach K, und beide befinden sich in der Wellenlinie CKV. Weiter geht C nach D, K gelangt auf den Gipfel der Welle nach L, und beide befinden sich in der Wellenlinie DLY, und so weiter für die übrigen Zeitabtheilungen.

Was hier von der Oberfläche des Wassers gesagt ist, geht auf gleiche Weise auch unter dem Wasser vor. Werden aus den Mittelpuncten X und Z die verticalen Linien $Xx\xi$, $Zz\zeta$ herabgelassen und die den Tiefen Xx, $X\xi$ zugehörigen Halbmesser (§. 39) ax, $\alpha\xi$ genommen, so beschreiben auch die Theilchen a, α um ihre Mittelpuncte x, ξ die gleichzeitigen Kreise abcde, $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$, und eben dieses erfolgt bei den Theilchen h, η...., wodurch also die Lage aller dieser Theilchen bestimmt wird. Hieraus wird vorstellbar, wie die Gipfel der

Wellen P, S, C, L... auf der Oberfläche des Wassers eine fortlaufende Bewegung zeigen, da sich doch die Theilchen nur in Kreisen bewegen, die Richtung der Wellenbewegung ist die nämliche als die, nach welcher sich jedes Wellentheilchen C auf dem Gipfel der Welle bewegt, dagegen ist diejenige Richtung von F nach A, nach welcher sich das Wassertheilchen im tiefsten Puncte der Welle bewegt, jener gerade entgegengesetzt. Man sieht auch, dafs bei den Wellen überhaupt die Wassertheilchen nicht zwischen einander laufen, sondern stets von denselben Wassertheilchen umgeben sind, indem nur die Neigungen der Flächen AH; BI; CK... ah; bi; ck... sich den Kreisbewegungen gemäfs abändern. Es wird hiernach nicht nur jedes Zusammenstofsen, sondern auch jede Reibung der Theilchen unter einander vermieden, und bei vollkommener Flüssigkeit des Wassers würde daher die begonnene Wellenbewegung stets fortdauern, wenn sie wirklich ohne alle Hindernisse der Adhäsion, des Widerstandes u. s. w. statt fände. Zum vollkommenen Beharrungszustande der Wellen wird aufserdem eine unendliche Tiefe des Wassers erfordert, weil bei keiner endlichen die Bewegung $= 0$ wird; allein die Bewegung nimmt mit der Tiefe so schnell ab, dafs sie bald für unmerklich gelten kann. Hieraus folgt aber zugleich, dafs in seichterem Wasser keine hohen Wellen entstehn können. Wellen entstehn übrigens sehr leicht, denn die irregulären Bewegungen der Wassertheilchen zerstören sich sofort, und nur die regelmäfsigen bleiben.

Man kann nicht verkennen, dafs diese Theorie mit Scharfsinn ausgedacht und sehr lichtvoll dargestellt worden ist, auch anscheinend mit den Erfahrungen im vollkommenen Einklange steht. Dabei setzt Gerstner hinzu, noch niemand habe die angenommene Bewegung der Wassertheilchen beobachtet, und es sey dieses auch bei den Meereswellen überhaupt nicht wohl möglich. Inzwischen ist auch diese Theorie nicht durchaus genügend, wie aus der gründlichen Kritik derselben durch die Gebrüder Weber einleuchtend hervorgeht.

43) Hiernach ist Gerstner's Theorie nur von einer besondern Art stehender Schwingungen gültig, was zum Theil davon herrührt, dafs er nicht die Entstehung der Wellen untersucht, sondern sie als schon vorhanden annimmt. Auch Poisson (§. 45) betrachtet den Fall, wo nicht an einem be-

sondern Orte, sondern auf der ganzen Oberfläche der Flüssigkeit Wellen entstehn, und findet, dafs dann die Bewegung wesentlich verschieden von der Wellenbewegung sey, die sich von einem bestimmten Orte aus über die ganze Flüssigkeit verbreitet. Nach beiden Gelehrten soll in diesem Falle die Bewegung im Innern der Flüssigkeit, wenn die Tiefen in arithmetischer Progression wachsen, in geometrischer abnehmen, und dieses Gesetz soll nach Poisson auf gewöhnliche Wellen nicht anwendbar seyn. Nach Weber's Untersuchungen bilden aber die Bewegungen in diesem besondern Falle stehende Schwingungen, und in jedem, von regelmäfsigen Wänden eingeschlossenen Gefäfse gehen alle Wellenbewegungen zuletzt in stehende Schwingungen über. Aus Gerstner's Theorie folgt, dafs jede Wellenbewegung endlich der von ihm gefundenen ähnlich werden müsse, und sofern sie sich daher auf die stehenden Schwingungen bezieht, kann von keiner scheinbaren Bewegung der Wellen die Rede seyn, weswegen auch eine gleichzeitig statt findende Bewegung der Wassertheilchen mit berücksichtigt wird. Die ganze Untersuchung führt dahin, dafs bei der Wellenbewegung, wenn sie blofs durch den statischen Druck unterhalten wird, keine andere Bewegung der Wassertheilchen statt finden könne, als in Cykloiden, und dafs auch die Oberfläche der Wellen eine solche Cykloide sey, als worin die Wassertheilchen sich bewegen. Hierdurch wird der Fall ausgeschlossen, dafs die cykloidische Bewegung sich der kreisförmigen nähert; die cykloidische Bewegung der Wassertheilchen kann in den in der Rechnung begriffenen Fällen wohl gestreckt seyn, aber nie gedrückt, sie kann sich der horizontalen geraden Linie annähern, aber nie der kreisförmigen. Den Voraussetzungen nach kann eine vorhandene Wellenbewegung durch den blofsen statischen Druck nur *fortbestehn*, wenn die Wassertheilchen sich in Cykloiden bewegen, entweder in gemeinen, oder in gestreckten, oder in gedrückten; der letzte Fall lasse sich aber der Rechnung nicht unterwerfen. Daraus folgt aber, dafs durch die blofse Wirkung des statischen Druckes die Erhebungen und Vertiefungen der Wellen nicht fortschreiten, die Wellen daher stehn bleiben. Anders würde es seyn, wenn man dem Wasser eine vom statischen Drucke völlig unabhängige Bewegung zuschreibt, in welchem Falle dann, wie Gerstner zeigt, die Wellenbewegung noch auf eine andere Weise fort-

dauern würde. Bei stehendem Wasser haben die Theilchen keine fortdauernde horizontale Bewegung, aber nach Gerstner soll das Stehenbleiben der Wellen daraus hervorgehn, dafs die gesammten Wassertheilchen sich vermöge des statischen Druckes mit einer bestimmten Geschwindigkeit horizontal fortbewegen und eine von diesem statischen Drucke ganz unabhängige Kraft sie wieder rückwärts bewege. Der statische Druck könnte aber eine fortdauernde horizontale Bewegung der gesammten Flüssigkeit nur dann hervorbringen, wenn der Boden des Gefäfses oder Canales geneigt wäre, und nur bei sehr tiefem Wasser, dessen Oberfläche auch ohne Wellen geneigt seyn müfste. Aufserdem ist bei keinem stehenden Wasser eine Kraft gegeben, die unabhängig vom statischen Drucke die ganze Wassermasse mit constanter Geschwindigkeit zurückschöbe, und so findet die ganze Berechnung auf stehendes Wasser keine Anwendung.

Weber giebt an, dafs nach einem Urtheile von Mollweide und Möbius in der vorliegenden Theorie zwei Sätze enthalten seyen, deren einer auf blofser Hypothese beruhe und daher zu ihrer Unterstützung nicht dienen könne. Zuerst sage er, dafs der Druck senkrecht auf die Bahn eines Wassertheilchens von beiden Seiten gleich grofs seyn müsse, weil sonst das Theilchen nach oben oder nach unten ausweichen würde, wogegen nichts einzuwenden ist. Der zweite Satz dagegen, dafs alle Kräfte, die senkrecht auf verschiedene Puncte der Bahn drücken, gleich seyen, folge durchaus nicht aus den Eigenschaften der Flüssigkeiten und müsse vielmehr als blofs hypothetisch gelten. Inzwischen finde ich nicht, dafs Gerstner diesen Satz zur Begründung seiner Hypothese aufgestellt habe; wenn er aber (§. 35) sagt, dafs der Druck der umgebenden Wassertheilchen gegen das in der Cykloide bewegte von allen Seiten gleich seyn müsse, so sehe ich dieses als eine Folgerung aus der Voraussetzung an, wonach sich das Theilchen in der angenommenen Curve bewegt, was nicht statt finden würde, wenn nicht der Druck der umgebenden Wassertheilchen dasselbe in jedem Puncte dieser Bahn erhielte. Uebrigens ist dieser Satz der nämliche, welchen auch die Gebrüder Weber näher beleuchten. Denkt man nämlich die auf M und N senkrecht auf die Bahn des Theilchens wirkenden Kräfte durch mM und m'M; nN und n'N ausgedrückt, und alle diese Kräfte Fig. 120.

unter einander gleich, so würde die Beschleunigung des Theilchens M bloſs von seinem Gewichte abhängen. Wären aber zwar mM = m'M und nN = n'N, allein mM gröſser als nN (wovon mit bloſser Rücksicht auf die Eigenschaften einer vollkommenen Flüssigkeit die Möglichkeit nicht zu läugnen ist), so würde das Theilchen M in seiner Bahn nach N beschleunigt werden.

Nach Weber ist vermöge der Voraussetzung, daſs die Wellenbewegung im ganzen Canale von unbegrenzter Länge und Tiefe vorhanden sey, der auch von Poisson besonders behandelte Fall statt findender sogenannter stehender Schwingungen der eigentliche Gegenstand der Untersuchungen Gerstner's, womit das von Beiden aufgefundene Gesetz über die mit der Tiefe abnehmende Bewegung sehr wohl harmonirt. Inzwischen scheint diese Untersuchung sich nicht auf alle stehende Schwingungen, sondern nur auf einen speciellen Fall zu erstrecken. Bei der stehenden Schwingung setzt sich die Flüssigkeit in ein gewisses Gleichgewicht, so daſs die Schwingungen der einzelnen Flüssigkeitsabtheilungen sich nicht gegenseitig erzeugen, wie bei den fortschreitenden Wellen, sondern daſs jede Abtheilung von selbst diejenigen Schwingungen macht, zu denen sie sonst von den angrenzenden Abtheilungen gezwungen werden würde. Diese vollkommen freie Schwingung findet aber nur dann statt, wenn die Geschwindigkeit jedes Theilchens in seiner Bahn bloſs durch seine Schwere vergröſsert oder vermindert wird, wenn also die Seitendrucke nicht allein von allen Seiten, sondern auch in allen Puncten der Bahn gleich sind, wie Gerstner annimmt. Dabei muſs aber bemerkt werden, daſs zur stehenden Schwingung diese vollkommene Gleichheit in allen Puncten der Bahn eines Theilchens nicht einmal erfordert wird, da es vielmehr schon hinreicht, wenn die nämlichen Ungleichheiten nur periodisch wiederkehren. Auf diese Art der stehenden Schwingungen, welche allerdings die gewöhnlichste ist, bezieht sich Gerstner's Theorie, die daher in Folge der gemachten Voraussetzung sehr speciell, aber eben darum zugleich interessant ist. Diese Voraussetzung drückt die charakteristische Eigenschaft der denkbar vollkommensten stehenden Schwingungen aus, die nämlich, daſs zwischen den schwingenden Flüssigkeitstheilchen ein relatives (ein absolutes würde vollkommene Ruhe erzeugen) Gleichgewicht statt finde,

und zwar das vollkommenste, welches neben ihrer Schwingung sich denken läſst. Diese Bedingung ist zwar nicht vollkommen erreichbar, doch kann man sich ihr in gewissem Grade nähern.

Die Gebrüder Weber prüfen noch zwei specielle Lehrsätze der genannten Theorie. Nach Gerstner nehmen die Durchmesser der Bahnen der Wassertheilchen, die senkrecht unter einander liegen, in einer geometrischen Reihe ab, wenn die Tiefen in einer arithmetischen Reihe wachsen. Die Versuche ergaben einen Unterschied zwischen den Abnahmen der senkrechten und der horizontalen Durchmesser jener Bahnen, und zwar in der Art, daſs die ersteren weit schneller abnahmen, als die letzteren, indem noch in beträchtlicher Tiefe Bewegungen, aber, so weit die Beobachtung reicht, anscheinend bloſs in horizontaler Richtung statt fanden. In dieser Beziehung stimmen Gerstner und Poisson nicht überein, indem jener der älteren Meinung huldigt, wonach die Taucher in verhältniſsmäſsig geringer Tiefe keine Bewegungen wahrnehmen, dieser dagegen dasjenige bestätigt, was Bremontier und Coudraye gefunden haben, daſs die Wellenbewegungen sich bis zu sehr groſsen Tiefen erstrecken. Die nach Weber's Versuchen in beträchtlicher Tiefe statt findenden horizontalen Bewegungen heben sich nach Poisson gegenseitig auf, wenn die Wellenbewegung über die ganze Oberfläche regelmäſsig verbreitet ist, und diesen Fall hat Gerstner betrachtet, weswegen nach seiner Theorie die Durchmesser der Bahnen der Wassertheilchen, die sämmtlich kreisförmig sind, mit der Tiefe schnell abnehmen. Nach Weber's Versuchen sind diese sämmtlichen Bahnen elliptisch, nähern sich aber oben der Kreisform. Bezieht sich jedoch die Abnahme der Durchmesser dieser Bahnen bloſs auf die senkrechten, so stimmt das aus der Erfahrung entnommene Verhalten sehr genau mit dem durch Gerstner theoretisch gefundenen überein.

44) Die hier gerügten Mängel dieser Theorie, sofern sie als eine vollständige gelten soll, hat schon früher Brandes[1]

1 Die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper, dargestellt von L. Euler. Uebers. mit einigen Anm. und Zusätzen von H. W. Brandes. Leipz. 1806. S. 223. Vergl. G. XXXIV. 343.

hervorgehoben. Dasjenige, sagt er, worüber dieselbe keine Auskunft giebt, ist das Fortlaufen der Welle über die Oberfläche des Wassers und die Abhängigkeit der Wellenbewegung von der Tiefe des Gewässers. Rücksichtlich des letzteren Gegenstandes giebt die Theorie an, dafs die tiefer liegenden Cykloiden zwar immer flacher werden, aber erst in einer unendlichen Tiefe sich in gerade Horizontallinien verwandeln, und daher könnten über einem horizontalen Boden nur Wellen entstehn, deren Höhe gegen die Tiefe des Wassers unendlich klein wäre. Man sieht daher zwar, dafs hohe Wellen nur auf sehr tiefen Gewässern statt finden könnten, aber über das Gesetz, wie Höhe der Wellen und Tiefe des Wassers von einander abhängen, fragt man die Theorie vergebens. Das darüber angegebene Gesetz findet in der Natur wahrscheinlich nicht statt, denn die Störung des Gleichgewichts, welche Wellen erzeugt, ist ursprünglich meistens nur an der Oberfläche wirksam, wogegen diese Theorie zu verlangen scheint, dafs sie nach einem bestimmten Gesetze auch in der Tiefe noch wirke. Das Fortlaufen der Wellen streitet mit der Theorie nicht, denn diese besteht allerdings auch dann, wenn die ganze Wassermasse mit einerlei Geschwindigkeit horizontal fortgeführt wird; wodurch aber diese Bewegung hervorgebracht werde, darüber giebt die Theorie keine genügende Auskunft.

g) Poisson's Theorie.

45) Eine kurze Uebersicht des Calcüls zu geben, mittelst dessen Poisson[1] zu den von ihm gefundenen Resultaten gelangt ist, dürfte nicht wohl ausführbar seyn; den Gang desselben aber deutlich zu machen dürfte mehr Raum erfordern, als hier darauf verwandt werden kann. Zudem sind die Thatsachen, worauf die Wellenbewegung beruht, durch die Gebrüder Weber in grofser Vollständigkeit aufgefunden worden; es kommt nur darauf an, diese auf die allgemeinen Bewegungsgesetze durch die Gewalt der Analyse zurückzuführen. Es wird daher genügen, die von ihm erhaltenen Hauptresultate kurz anzugeben.

Poisson erwähnt die früheren Untersuchungen von New-

1 Mém. de l'Acad. des Sc. de Paris. 1816. p. 71 bis 186. Spätere Note in Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 571.

ton, Laplace und Lagrange, und es scheint, als habe er selbst die Bewegung der Wassertheilchen beim Entstehen der Wellen durch Eintauchen von Körpern in Wasser mit ruhiger Oberfläche beobachtet, um auf diese Beobachtungen die Gesetze der Wellenbewegung zurückzuführen. Die Aufgabe wird von ihm in grofser Allgemeinheit aufgefafst. Die Bewegungen der Wassertheilchen, worauf die Wellenbewegung beruht, können nicht plötzlich aufhören, wenn sie gleich mit der Tiefe abnehmen; wollte man aber auch annehmen, dafs die Tiefe, bei welcher sie unmerklich werden, sehr gering sey, so können sie doch nicht, wie man voraussetzt, aus der Geschwindigkeit an der Oberfläche abgeleitet werden. Um einen Anhaltpunct zu haben, mögen die Tiefe und die übrigen Dimensionen der Flüssigkeit als unendlich oder mindestens so grofs angenommen werden, dafs sie auf die Bewegung der Wassertheilchen keinen Einflufs äufsern. Ferner wird vorausgesetzt, dafs die gesammte Wassermasse ursprünglich ruhe, dann irgend ein Körper in sie eingetaucht und abgewartet werde, bis die Ruhe wieder hergestellt worden ist, worauf sofort durch plötzliches Herausziehn desselben um diesen Punct Wellen entstehn, die sich nach allen Seiten hin ausbreiten und deren Fortgang dann Gegenstand der Untersuchung wird. Wenn auf diese Weise die Tiefe der Flüssigkeit unberücksichtigt bleibt, so kommen bei der Aufgabe blofs die Dimensionen des eingetauchten Körpers und der von einem fallenden Körper in einer gegebenen Zeit durchlaufene Raum als gegebene Gröfsen in Betrachtung. Ist dann ferner die Geschwindigkeit der Wellen von den Dimensionen des sie erzeugenden eingetauchten Körpers unabhängig, so mufs der von ihnen in einer gegebenen Zeit durchlaufene Raum demjenigen gleich seyn, welchen ein fallender Körper in derselben zurücklegt, multiplicirt mit einer von jeder Zeit und Richtung unabhängigen Gröfse, und ihre Bewegung wird also der eines fallenden Körpers gleich seyn, dessen Beschleunigung ein Vielfaches oder ein Bruchtheil der durch die Schwere erzeugten ist. Wenn dagegen die Bewegung der Wellen eine gleichbleibende ist, so mufs sie von der ursprünglichen Erregung abhängen, so dafs der in einer gegebenen Zeit durchlaufene Raum die mittlere Proportionale zwischen zwei Linien ist, deren eine durch den freien Fall eines schweren Körpers, die andere als Function der Dimensionen des eingetauchten Körpers gege-

ben ist. Es könnte auch die Wellenbewegung eine beschleunigte seyn und die Beschleunigung von den Dimensionen des eingetauchten Körpers abhängen. Der Calcül muſs entscheiden, welche von diesen Voraussetzungen die richtige ist; allein man ersieht schon im voraus, daſs die eine wie die andere sich mit den Resultaten der analytischen Mechanik nicht vereinigen lassen.

So weit waren die Untersuchungen gediehn, als Poisson die Lösung des interessanten Problems unternahm, die ihn sowohl wegen ihrer Einfachheit als auch ihrer Schärfe befriedigte. Am Ende des Jahres 1815 machte er seine erste und bald nachher seine zweite Abhandlung bekannt, bearbeitete aber seitdem die Aufgabe weiter, besonders in Beziehung auf die verticale Bewegung der Wassertheilchen. Bekannt waren ihm zugleich die Versuche, welche Biot anstellte, indem er verschieden gestaltete Körper, auch Kegel oder Cylinder, eintauchte, wobei er fand, daſs die Geschwindigkeit der Wellen weder von der Figur der eingetauchten Körper, noch von der Tiefe des Einsenkens abhängig sey, wohl aber vom Halbmesser ihres Durchschnittes im Spiegel des Wassers, was mit den Resultaten der Rechnungen Poisson's übereinstimmt, wonach diese Geschwindigkeit der Quadratwurzel dieses Halbmessers proportional ist. Die verticalen Bewegungen der Flüssigkeitstheilchen, wodurch die Erscheinung der auf der Oberfläche der Flüssigkeiten hingleitenden Wellen erzeugt wird, nehmen an Gröſse ab, so wie man sich weiter vom Puncte der ursprünglichen Erschütterung entfernt, und zwar ist ihr Umfang den Quadratwurzeln ihrer Abstände von diesem Puncte umgekehrt proportional, wenn das Wasser sich in einem Canale von gleichbleibender Breite befindet, diesen Abständen selbst aber umgekehrt proportional, wenn die Wasserfläche allseitig unbegrenzt ist und die Wellen sich um einen gemeinschaftlichen Anfangspunct ausbreiten. Die Räume, welche die Wassertheilchen im Innern der Flüssigkeit unter dem Puncte der ursprünglichen Erschütterung zur Erzeugung der Wellen durchlaufen, nehmen schneller ab, und zwar im einfachen oder quadratischen Verhältniſs des Abstandes, je nachdem das Wasser in einem eingeschlossenen Canale enthalten ist oder nicht, wonach also die Wellenbewegung sich viel weiter in horizontaler, als in verticaler Richtung verbreitet. Poisson bemerkt, daſs dieses Re-

sultat, welches aus seiner Analyse folge, mit dem beobachteten Herabgange der Wellenbewegung bis zu beträchtlicher Tiefe keineswegs im Widerspruch stehe, was sich übrigens leicht aus der sehr großen horizontalen Entfernung ermessen läßt, bis wohin die Wellen fortgepflanzt werden. Der Wunsch, welchen Poisson bei dieser Gelegenheit ausspricht, daß diese Aufgabe einmal auf dem Wege der Erfahrung aufgeklärt werden möge, ist unterdeß durch die schätzbaren Bemühungen der Gebrüder Weber in Erfüllung gegangen.

Es ist sehr interessant, den Gang kennen zu lernen, welchen Poisson verfolgt, um die verschiedenen Wellenbewegungen aus einfachen mechanischen Principien abzuleiten, noch interessanter aber ist es, diese Untersuchungen mit der Beurtheilung derselben von den Gebrüdern Weber und mit ihrer Prüfung der auf diese Weise theoretisch entwickelten Resultate durch geeignete Versuche zu vergleichen; allein dieses würde hier zu viel Raum erfordern, und wir müssen daher auf die angegebenen Quellen verweisen. Plana[1] hat es der Mühe werth gefunden, der Abhandlung des französischen Geometers eine Reihe von Bemerkungen hinzuzufügen, die sich jedoch bloß auf den Calcül beziehn, hauptsächlich auf die gewählten Methoden der Integration. Da sich dieses aber zu weit von dem hier vorliegenden Zwecke entfernt, so genügt eine bloße Anzeige dieser gleichfalls schätzbaren Abhandlung.

46) Bidone[2] sah sich durch die vortrefflichen hydrodynamischen Vorrichtungen zu Turin in den Stand gesetzt, die durch Poisson gefundenen theoretischen Resultate auf dem Wege der Erfahrung zu prüfen. Vorzugsweise war erforderlich, die durch Poisson festgesetzten Bedingungen genau inne zu halten. Diese sind zuerst, daß ein Körper von gegebener Gestalt nur bis zu geringer Tiefe eingetaucht werde, damit die durch sein Herausziehn erzeugten Wellenbewegungen sich nur bis zu geringer Tiefe erstrecken, und zweitens, daß das Wasser nach dem Eintauchen und vor dem schnellen Herausziehn erst wieder zur Ruhe komme, damit nicht verschiedenartige Bewegungen zusammenfallen, vielmehr die Wellenbewegung als

1 Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino. T. XXV. v. J. 1820. p. 113.

2 Ebendaselbst. p. 84.

durch die Schwere allein erzeugt zu betrachten sey. Es scheint, als ließen sich diese Bedingungen leicht erfüllen, sofern sich die Dimensionen des bis zu geringer Tiefe eingetauchten Körpers ohne Schwierigkeiten genau messen lassen und die Ruhe vor dem schnellen Herausziehn vollständig hergestellt werden kann. Inzwischen stellt sich ein unvermeidliches Hinderniß entgegen, indem der schnell herausgezogene Körper eine Wassersäule nach sich zieht, die sich über das Niveau zu einer größeren Höhe erhebt, als geschehn würde, wenn eine bloße Vertiefung durch die Wirkung der Schwere ausgefüllt würde. Die Ursache hiervon soll theils in dem Einflusse des Luftdruckes liegen, welcher durch das schnelle Aufheben des eingetauchten Körpers verändert wird, theils in der Adhäsion des Wassers an diesen Körper, wobei Bidone der ersteren (wohl mit Unrecht) den größten Einfluß beimißt. Um über die hiernach emporgehobene Wassersäule richtigere Bestimmungen zu erhalten, wurde die Höhe derselben so annähernd genau, wie dieses geschehn konnte, gemessen, indem ein Gehülfe die auf der Drehbank verfertigten und polirten Körper mit der vorher bequem ruhenden Hand so schnell wie möglich emporhob. Ohne die Resultate der einzelnen Versuche hier mitzutheilen, wird es genügen, zu bemerken, daß, bekannten Erfahrungen gemäß, beträchtliche Wasserkegel und Säulen in die Höhe stiegen, deren Höhe dann am größten war, wenn die auch noch so glatten eingetauchten Körper eine ebene Bodenfläche und einen großen Flächendurchschnitt im Wasserspiegel hatten, ohne nach unten hin verjüngt zu seyn. Man ersieht hieraus, wie weit vorzüglicher die Methoden der Wellenerregung waren, welche die Gebrüder Weber bei ihren Versuchen wählten. Inzwischen bemerkte Bidone bald, daß durch das bloße Herausziehn des eingetauchten Körpers Wellen erzeugt wurden, auf welche die wieder herabfallende Wassermasse nur störend einwirkte, die sich oft in einzelne Theile zerstreute, so daß diese nach einander in so viel längerer Zeit herabfielen, je höher die Masse emporgehoben war. Ist die Figur des eingetauchten und dann wieder herausgezogenen Körpers eine regelmäßige, als die einer Kugel oder eines Paraboloids u. s. w., und geschieht das Herausziehn langsam ohne Absätze, so entstehn die Wellen erst in dem Augenblicke, wenn die Trennung des Körpers vom Wasser erfolgt, wird er aber in stoßweisen Absätzen heraus-

gezogen, so erzeugt jeder Zug Wellen, die störend auf einander einwirken. Aehnliche Erscheinungen zeigen sich, wenn man einen Körper eintaucht. Wellen entstehn im Augenblicke der Berührung der Wasserfläche durch den eingetauchten Körper; geschieht das Einsenken in langsam unterbrochenen Absätzen, so entstehn durch jede eingetauchte Zone Wellen, geschieht es dagegen schneller, so gehören die entstandenen Wellen der letzten eingetauchten Zone an. Inzwischen wurden die nachfolgenden Versuche auf die Weise angestellt, welche Poisson voraussetzt, nämlich durch Eintauchen eines Körpers, Abwarten der wiederhergestellten Ruhe und dann schnelles Herausziehen desselben; die Zeiten wurden mit einer genauen Tertienuhr gemessen, mittelst deren sich Drittel und Viertel einer Secunde bestimmen liefsen.

47) Zur Erforschung des Fortganges der Wellen auf der Oberfläche des Wassers diente ein ausgemauerter Canal mit horizontalem Boden und verticalen Seitenwandungen, beide eben verputzt; die überall gleiche Breite betrug 24 Par. Zoll. Die Erregung der Wellen geschah durch das Eintauchen und schnelle Herausziehn von parallel mit ihrer Axe geschnittenen Segmenten gerader Cylinder, die aus polirtem Holze verfertigt und so tief eingetaucht wurden, dafs sie kaum über den Wasserspiegel hervorragten. Die Mitte des Segments nach seiner Längenaxe befand sich hierbei ungefähr in derjenigen verticalen Ebene, welche den Canal halbirte; die übrigen Dimensionen, welche bei den einzelnen Versuchen verschieden waren, sind besonders angegeben. Beobachtet wurde nur die erste und die zweite Welle, für welche Poisson's Ausdruck gilt, nämlich für die erste

$$x = \frac{g t^2}{2} (0{,}3253), \text{ also } t = \sqrt{(0{,}2036) . x},$$

und für die zweite

$$x = \frac{g t^2}{2} (0{,}1183), \text{ also } t = \sqrt{(0{,}5599)\, x},$$

wenn g = 30,1958 Fufs angenommen wird und x den Raum bezeichnet, welchen die Welle auf der Oberfläche des Wassers, vom Centrum des Eintauchens an gerechnet, in der Zeit t zurücklegt. Da der Wassercanal stets derselbe war, so genügt es, nur die Tiefe des darin enthaltenen Wassers anzugeben. Um Verwirrung zu vermeiden, wurden nicht die erste und zweite

Welle bei der nämlichen Erregung derselben beobachtet, sondern in einer Reihe von Beobachtungen bloſs die ersten, und in einer nachfolgenden unter ganz gleichen Bedingungen die zweiten, wenn sie in der nämlichen Entfernung angekommen waren, wo man die ersten beobachtet hatte. Die folgenden Tabellen enthalten die durch Versuche und durch Rechnungen gefundenen Resultate.

1) Die Länge des eingetauchten Segments betrug 23 Zoll, seine Chorde 8 Zoll, die Tiefe des Eintauchens 7 Linien.

Wassertiefe	Entfernung	Zeit der ersten Welle		Zeit der zweiten Welle	
		beobachtet	berechnet	beobacht.	berechnet
24 Z. 5 Lin.	6 Fuſs	1,06 Sec.	1,11 Sec.	1,73 Sec.	1,83 Sec.
24 Z. 5 Lin.	12 —	1,62 —	1,56 —	2,44 —	2,59 —
24 Z. 5 Lin.	18 —	2,10 —	1,91 —	3,33 —	3,17 —

In 18 Fuſs Abstand vom Puncte des Eintauchens war die erste erzeugte Welle nur mit Mühe sichtbar.

2) Die Länge des eingetauchten Segments betrug 23 Zoll, seine Chorde 11 Z. 8 L., die Tiefe des Eintauchens 6 Lin.

Wassertiefe	Entfernung	Zeit der ersten Welle		Zeit der zweiten Welle	
		beobacht.	berechnet	beobacht.	berechnet
20 Z. 6 Lin.	12 Fuſs	1,56 Sec.	1,56 Sec.	2,67 Sec.	2,59 Sec.
23 Z. 3 Lin.	18 —	2,00 —	1,91 —	3,17 —	3,17 —
24 Z. 8 Lin.	24 —	2,37 —	2,21 —	3,75 —	3,66 —

3) Die Länge des eingetauchten Segments war 23 Zoll, seine Chorde 7 Z. 5 Lin., die Tiefe des Eintauchens 1 Z.

Wassertiefe	Entfernung	Zeit der ersten Welle		Zeit der zweiten Welle	
		beobacht.	berechnet	beobacht.	berechnet
23 Zoll	6 Fuſs	1,00 Sec.	1,11 Sec.	1,75 Sec.	1,83 Sec.
23 —	12 —	1,75 —	1,56 —	2,50 —	2,59 —

Die Uebereinstimmung der beobachteten und berechneten Gröſsen

ist so genau, wie sie unter den Umständen nur seyn konnte, insbesondere wenn man berücksichtigt, daſs die Genauigkeit der Zeitbestimmung 0,25 Sec. kaum erreichte und der Wellenberg sowohl, als auch das Wellenthal bei ihrer Ankunft so schwer mit hinlänglicher Schärfe wahrnehmbar waren. Die einzelnen angegebenen Gröſsen sind daher nicht aus einem einzigen Versuche entnommen, sondern geben das Mittel aus drei und mehr Beobachtungen.

48) Die Vorrichtung gestattete, die Bewegung der Wellen auf der Oberfläche des Wassers auch dann zu beobachten, wenn das Wasser selbst sich gleichförmig und zwar in entgegengesetzter Richtung bewegte. Die Bewegung der gesammten Wassermasse im Canale betrug 12 Fuſs in 39 Secunden, und die Messung bloſs der zweiten Welle gab folgende Resultate. Die Länge des eingetauchten Cylindersegments war 23 Z., dessen Chorde 11 Z. 8 Lin., die Tiefe des Eintauchens 6 Lin., die Tiefe des Wassers 23 Z. 6 Lin., der durchlaufene Raum 12 Fuſs, und dann betrug die gemessene Zeit 2,69 Sec., die berechnete aber, für die eigene Bewegung des Wassers corrigirt, 2,68 Sec. Die Correction erhält man ganz einfach, wenn man in die Formel statt 12 Fuſs vielmehr 12,8277 Fuſs setzt, da das Wasser sich während der Dauer des Wellenfortganges um 0,8277 Fuſs in entgegengesetzter Richtung bewegte.

War der eingetauchte Cylinder nicht gröſser, als der bei den erzählten Versuchen in Anwendung gebrachte, so konnten die ersten und zweiten Wellen nicht wohl in gröſseren Entfernungen, als den erwähnten, wahrgenommen werden, und um daher die Messungen bei noch gröſseren Abständen vorzunehmen, wählte Bidone ein gröſseres Cylindersegment, womit es ihm gelang, die ersten und zweiten Wellen bis auf 30 und sogar 42 Fuſs Abstand vom Erregungsmittelpuncte noch zu beobachten; allein hierbei wurden die Unterschiede zwischen den beobachteten und den berechneten Werthen bedeutend gröſser. Die Dimensionen des Segmentes waren 23 Z. Länge, 16 Z. 10 Lin. Breite oder Chorde, Tiefe des Einsenkens 1 Z. 1,75 Lin., und es wurden bloſs die zweiten Wellen beobachtet. Die Vergleichung giebt aus wiederholten Versuchen im Mittel:

Wassertiefe	Entfernung	Zeit der zweiten Welle beobachtet	Zeit der zweiten Welle berechnet	Unterschied
24 Z. 7 Lin.	30 Fufs	4,17 Sec.	4,10 Sec.	— 0,07
24 — 4 —	30 —	4,61 —	4,10 —	— 0,51
24 — 4 —	42 —	6,20 —	4,85 —	— 1,35
24 — 9 —	42 —	6,25 —	4,85 —	— 1,40
24 — 3 —	42 —	6,31 —	4,85 —	— 1,46

Da die Versuche mehrmals und an verschiedenen Tagen wiederholt wurden, so ist die Abweichung bei der weiteren Entfernung viel zu grofs, als dafs sie aus Beobachtungsfehlern abzuleiten wäre, es müssen daher Bedingungen obwalten, die im Calcül nicht berücksichtigt sind und vielleicht bei kleineren Entfernungen nicht eben merklichen Einflufs äufsern.

48) Bidone stellte auch eine Reihe von Versuchen an, um auszumitteln, wie hoch sich die erzeugten Wellen nach einer bestimmten Zeit und in einer gegebenen Entfernung vom Mittelpuncte der Erzeugung erheben. Hierbei bediente er sich eines Segmentes von 23 Z. Länge, 11 Z. 8 Lin. Chorde und 6 Lin. Einsenkung, und erhielt dann folgende Resultate im Mittel aus mehreren Versuchen:

Wassertiefe	Entfernung	Zeit	Höhe
24 Z. 6 Lin.	12 Fufs	4 Sec.	1,5 Lin.
24 Z. 5 Lin.	12 Fufs	6 Sec.	2 Lin.

Hiernach erhielten also die Wellen unter den angegebenen Bedingungen in der genannten Zeit zum ersten Male die gemessene Höhe. Eine Vergleichung dieser Resultate mit dem Calcül Poisson's hält Bidone nicht wohl für möglich, da die angegebenen Formeln sich hierzu nicht eben eignen.

Die beschriebenen Vorrichtungen waren nicht sehr geeignet, die Tiefe zu bestimmen, bis zu welcher die Wassertheilchen in Bewegung gesetzt werden, denn namentlich war die Tiefe des Canales zu gering gegen seine übrigen Dimensionen; inzwischen stellte er dennoch einige hierauf bezügliche Versuche an und überzeugte sich dadurch bald, dafs jene Bewegungen sich allerdings bis zu bedeutenden Tiefen erstrecken.

49) Noch verdient das Resultat einer Versuchsreihe erwähnt zu werden, wozu sich die benutzte Vorrichtung ausnehmend eignete. Der beschriebene ausgemauerte Canal hatte am einen Ende ein größeres und tieferes Bassin B, welches mittelst einer Schleuse CD, die in Nuten sehr genau beweglich war, vom Canale abgeschlossen werden konnte. Wurde diese Schleuse bis auf einen gewissen Abstand herabgelassen, so verbreiteten sich die im Canale erzeugten Wellen auch bis in das Bassin und die Oberfläche AE gerieth in sichtbare Bewegung durch die einander folgenden und von den Wandungen zurückgeworfenen Wellen. Auf gleiche Weise, wie im Canale, ging auch im Bassin die erste und zweite Welle, durch das Herausziehen des Segments erzeugt, mit ihrem Thale voran, ihr Erscheinen war aber so deutlich, daſs sich die Zeit ihrer Ankunft im Puncte A genau bestimmen lieſs. Bei den Versuchen war die Länge des eingetauchten Segments 23 Z., die Breite oder Chorde 11 Z. 8 Lin. und die Tiefe des Eintauchens 6 Lin.; die Wassertiefe betrug 21 Z. 8 Lin., der Abstand der Schleuse vom Mittelpuncte der Eintauchung 3 Fuſs, die Oeffnung unter D 1 Zoll, der Abstand des Punctes A von der Schleuse 1 Fuſs 6 Z., und dann die Zeit der Ankunft der ersten Welle in A 2 Secunden. Wäre die Schleuse nicht vorhanden gewesen, so muſste die Welle den ganzen Raum von S bis A, welcher im Ganzen 4 Fuſs 6 Zoll betrug, in 0,96 Sec. zurücklegen. Das hier mitgetheilte Resultat kann als Ergänzung derjenigen dienen, welche die Gebrüder Weber durch ihre Versuche (§. 20) gefunden haben. Fig. 121.

50) Bidone erwähnt noch seine Versuche über die Verbreitung der Wellen auf einer unbegrenzten Flüssigkeitsfläche. Hierbei beobachtete er bloſs die zweite Welle, für deren Bewegung von Poisson die Formel

$$r = \frac{g\,t^2}{2}\,(0{,}1289)$$

aufgestellt worden ist. Wird hierin der Par. Fuſs als Einheit angenommen, so erhält man

$$t = \sqrt{(0{,}5138)\,r},$$

worin r den Abstand bezeichnet, bis wohin die Welle vom Mittelpuncte der Erregung an in der Zeit t gelangt. In zwei Versuchsreihen diente zum Eintauchen bei der ersten ein Kugelsegment, dessen Schnittfläche 2 Zoll 1 Lin. im Durchmesser

und dessen Höhe 2,25 Lin. betrug, bei der zweiten ein solches, wobei der Durchmesser der Schnittfläche 3 Z. 6,75 Lin. und die Höhe 9 Lin. ausmachte. Die erhaltenen Resultate sind folgende:

Vers.	Wassertiefe	Entfernung	Zeit der zweiten Welle beobacht.	berechnet	Untersch.
1	16 Z. 8 Lin.	2 Fuſs	1 Sec.	1,01 Sec.	+ 0,01 Sec.
2	24 Z. 3 Lin.	2 Fuſs	1 Sec.	1,01 Sec.	+ 0,01 Sec.

Die Unterschiede sind so gering, daſs sie unzweifelhaft als Beobachtungsfehler gelten können oder vielmehr in den Grenzen derselben verschwinden. Man übersieht aber bald, was Bidone auch nicht durchaus verkennt, daſs die Frage auf die angegebene Weise nicht eigentlich beantwortet werden konnte; denn da die Versuche anscheinend in dem beschriebenen Bassin angestellt wurden, sofern man dieses aus dem gänzlichen Mangel jeder weiteren Bestimmung hierüber schlieſsen muſs, so konnte die Wasserfläche nicht für unbegrenzt gelten; sicher aber ist wohl, daſs die Gröſse derselben für unendlich groſs im Verhältniſs zu der kurzen Strecke von 2 Fuſs genommen wurde. Es dürfte hiernach die eigentliche Frage durch diese Versuche als gar nicht beantwortet erscheinen.

Die erzählten Versuche boten noch einige Erscheinungen dar, welche hier gleichfalls erwähnt zu werden verdienen. Wenn die Wellen dadurch entstanden, daſs dreieckige, quadratische oder länglich ellipsoidische Scheiben mit ihrer Fläche dem Wasserspiegel parallel entweder auf das Wasser gestoſsen, oder bis nahe zu ihrer Oberfläche eingetaucht und nach dem Eintauchen in die Höhe gehoben wurden, jederzeit den wiederhergestellten ruhigen Stand der Flüssigkeit vorausgesetzt, so hatten die hierdurch erzeugten, sich kräuselnd ausbreitenden Wellen in der Umgebung der Scheiben eine der Form der letzteren entsprechende Gestalt. Die hierbei angewandte, an einem Stiele befestigte, gleichseitig dreieckige Scheibe hatte 6 Z. 3 Lin., die vierkantige quadratische 9 Z. 6 Lin. Seite, bei der elliptischen aber betrug die groſse Axe 18 Z. 6 Lin., die kleine 7 Zoll. Verfolgte das Auge die im geringen Abstande von den Scheiben erzeugten Wellen, so zeigten sich die durch die drei-

eckige Scheibe erzeugten gleichfalls dreieckig, jedoch in der Art, dafs den spitzen Kanten der Scheibe die Seiten der Wellen genau gegenüber standen; ebenso war die quadratische Scheibe von quadratischen Wellen umgeben, welche den Spizzen die Seiten zukehrten, die elliptische Scheibe aber erzeugte kreisförmige Wellen.

h) Cauchy's Theorie.

51) Für das Jahr 1815 gab das französische Institut folgende Preisfrage auf: *Une masse fluide pesante, primitivement en repos et d'une profondeur indéfinie, a été mise en mouvement par l'effet d'une cause donnée. On demande, au bout d'un temps déterminé, la forme de la surface extérieure du fluide, et la vitesse de chacune des molécules situées à cette même surface.* Hierin ist allerdings die Theorie der Wellen, sogar wohl der stehenden und der fortschreitenden, enthalten; sofern sich aber die eigentliche Frage zunächst auf die Gestalt der Oberfläche und die Geschwindigkeit der in dieser befindlichen Wassertheilchen bezieht, ist nicht gefordert, die Bewegung der tiefer liegenden Wassertheilchen, die in Beziehung auf die Wellen von so grofser Bedeutung ist, mit in den Bereich der Untersuchung zu ziehn. Den Preis erhielt eine Abhandlung von Cauchy[1], welche in Beziehung auf tiefe Kenntnifs und Fertigkeit im höheren Calcül unter die vorzüglichsten Erzeugnisse in diesem Gebiete gehört. Hierin ist allerdings die Aufgabe in gröfster Allgemeinheit behandelt, indem nicht blofs der Zustand der Oberfläche, sondern der ganzen flüssigen Masse für jede gegebene Zeit bestimmt wird. Zuerst kommen daher die bewegenden Ursachen in Betrachtung, deren zwei angenommen werden, die eine, wenn ein Theil der Flüssigkeit durch irgend eine Ursache gehoben oder niedergedrückt und dann sich selbst überlassen wird, die andere, wenn durch irgend einen Körper die Wassermasse an einer beliebigen Stelle einen Stofs erhält. Beide wirkende Ursachen können auch gemeinschaftlich wirken und die Bewegung der Wassertheilchen wird dann sehr verwickelt; entfernt man sich aber weiter von dem

---

1 Mémoires présentés par divers savants à l'Acad. cet. Sciences math. et phys. T. I. Par. 1827. p. 1 cet.

Puncte der Wellenerzeugung, so nimmt sie an Regelmäfsigkeit zu. Die Entfernung, bei welcher dieses eintritt, ist so viel geringer, je weniger ausgedehnt der Theil der Oberfläche ist, welcher den bewegenden Ursachen unterliegt. Hiernach ist es am geeignetsten, denjenigen Fall speciell herauszuheben, in welchem die Wellenhöhen und die Anfangsgeschwindigkeiten der Wassertheilchen sehr klein sind.

Cauchy zerfällt seine gelehrte Abhandlung, welcher noch zahlreiche Noten hauptsächlich zur weiteren Erläuterung des Calcüls hinzugefügt sind, in drei Abtheilungen. In der ersten zeigt er, wie bei der Kenntnifs der Gestalt der Oberfläche des Wassers und der Kräfte, welche auf diese wirken, diejenigen Gleichungen entwickelt werden, welche den anfänglichen Zustand der Flüssigkeiten ausdrücken; in der zweiten giebt er die Gleichungen, welche für irgend eine Zeit der Bewegung den Zustand der flüssigen Masse und ihrer Oberfläche bezeichnen; in der dritten endlich entwickelt er die allgemeinen Gesetze, welche aus den in der zweiten gegebenen Formeln hervorgehn, und bestimmt den numerischen Werth der Constanten, welche in den Ausdrücken dieser Gesetze enthalten sind. Hierbei ist indefs die Aufgabe in solcher Allgemeinheit aufgefafst, dafs die Aufnahme der vielseitigsten Bedingungen zu sehr verwickelten Gleichungen führt, welche des Verständnisses wegen unverkürzt mitgetheilt werden müfsten. Da inzwischen die Versuche der Gebrüder Weber eine genauere Kenntnifs der Wellen gegeben haben, so kann eine solche Mittheilung dem bereits einfacher Erkannten wenig oder gar nichts neues hinzusetzen, und die beiden ersten Abtheilungen fallen sonach von selbst weg, die dritte dagegen enthält einige numerische Bestimmungen, die insofern interessant sind, als sie sich mit denjenigen vergleichen lassen, die durch die Erfahrung gefunden wurden. So stellt sich unter andern die Folgerung heraus, dafs die Geschwindigkeit der Wassertheilchen für alle Puncte, welche gleichen Abstand vom Ursprunge der Welle haben, gleich ist und im Verhältnifs der Quadrate des Abstandes abnimmt, so dafs sie in gröfseren Entfernungen verschwindet; dafs ihre Richtung endlich mit einer vom Anfangspuncte der Coordinaten gezogenen Linie einen Winkel bildet, welcher demjenigen gleich ist, den diese mit der Verticale bildet; sie ist also vertical für alle Puncte der verticalen Axe y und horizontal in allen Puncten

einer Linie, welche vom Anfangspuncte der Coordinaten gezogen eine Neigung von 45° mit dieser hat; endlich ist sie vertical, aber abwärts gehend für alle Puncte in der Oberfläche.

Cauchy unterscheidet die Geschwindigkeit der Wellen oder diejenige, womit ihre Gipfel sich bewegen, von der Geschwindigkeit der sie bildenden Wassertheilchen in der Oberfläche des Wassers; die erstere wächst beständig, die letztere ist in sehr enge Grenzen eingeschlossen. Die Bewegung des Wellengipfels ist nicht gleichförmig, wie Lagrange gefunden hat, sondern regelmäfsig beschleunigt, und wächst wie die Quadrate des Abstandes vom Ursprunge. Im Allgemeinen gelten für die Bewegung der Wellen folgende Gesetze:

1) Die Geschwindigkeit jeder Welle ist unabhängig von der kleinen Quantität Flüssigkeit, welche beim Ursprunge der Bewegung gehoben oder herabgedrückt wird, und von der Krümmung der Oberfläche dieser Quantität; sie ist nicht gleichbleibend, sondern der Zeit proportional. Daher wachsen die von jeder Welle durchlaufenen Räume und die Abstände zweier sich folgenden Wellen wie die Quadrate der Zeiten.

2) Während eine Welle sich vom Puncte ihres Ursprunges um Räume entfernt, die den Quadraten der Zeiten proportional sind, nehmen ihre Höhen in einem gleichen Verhältnisse ab. Hiernach mufs also jede fortschreitende Welle dasjenige an Breite gewinnen, was sie an Höhe verliert, mithin die ihr zugehörige Wassermasse constant bleiben. Diesemnach folgt dann zugleich, dafs sie in einer nicht sehr langen Zeit sich abplattet und unmerkbar wird. Hieraus läfst sich schliefsen, dafs, wenn man in Gemäfsheit der Construction der verschiedenen Werthe der Ordinaten die begrenzende Curve einer Welle für eine gegebene Zeit gezeichnet hat, es genügt, die Scale der Höhe in einem gegebenen Verhältnisse abnehmend und die der Breite in dem nämlichen zunehmend zu setzen, um nach einer willkürlichen Zeit die Gestalt der Welle darzustellen.

3) Die Höhe der Welle, so wie ihre Geschwindigkeit, ist unabhängig von der Krümmung der Oberfläche, welche diejenige Wassermasse begrenzt, die im Anfange der Bewegung gehoben oder niedergedrückt wurde, wohl aber ist sie abhängig vom Volumen dieser Wassermasse und wächst diesem propor-

tional, so dafs für gleiche Volumina, wenn gleich von verschiedener Form, doch die Höhen der Wellen die nämlichen seyn würden. Da dieses Gesetz vom Zeichen der hier betrachteten Mengen ganz unabhängig ist, so folgt hieraus, dafs es sowohl für die Wellenthäler als auch die Wellenberge gilt, je nachdem die fragliche Wassermenge herabgedrückt oder emporgehoben war. Wenn endlich im ersten Augenblicke von zwei einander nahe liegenden Wassermengen die eine gehoben, die andere niedergedrückt wurde, so genügt es, nur den Unterschied ihrer Volumina zu beachten, und die Bewegung würde dann unmerklich werden, wenn beide gleich waren.

4) Bei gleichen Abständen vom Centrum der Bewegung nach beiden Seiten hin sind die Höhen und Geschwindigkeiten der Wellen einander gleich.

Bezeichnet man durch gt^2 den doppelten Raum, welchen ein frei fallender Körper in einer gegebenen Zeit t zurücklegt, so giebt $x:gt^2$ das Verhältnifs der Geschwindigkeit der Wellen zu der eines frei fallenden Körpers[1]. Cauchy setzt dann $\frac{x}{gt^2}=\frac{1}{k}$, und findet aus seinen Formeln $\frac{1}{k}=\frac{2}{(4n-3)\pi}$, wenn π die bekannte Ludolph'sche Zahl und n die Zahl der einander folgenden Wellen bezeichnet, für die ersten 10 Wellen folgende Verhältnifszahlen ihrer Geschwindigkeit zu der eines frei fallenden Körpers:

1ste	Welle	0,325	6te	Welle	0,030
2te	—	0,120	7-	—	0,025
3-	—	0,069	8-	—	0,022
4-	—	0,048	9-	—	0,019
5-	—	0,037	10-	—	0,017.

In Beziehung auf verschiedene andere, in dieser tiefgelehrten Abhandlung erörterte Bedingungen bei der Erzeugung und dem Fortgange der Wellen mufs ich auf diese selbst verweisen.

M.

1 Hiermit verdient Poisson's Ausdruck §. 47 verglichen zu werden.

Weltall.

Weltgebäude, Universum; *Mundus, Systema mundi s. cosmicum, Fabrica mundi;* Monde ou l'Univers; *the World, the Universe.*

So nennt man den Inbegriff aller Weltkörper, besonders der himmlischen im Grofsen, mit Einschlufs unserer Erde und selbst unseres Sonnensystems[1], welches letztere nur einen kleinen Theil der Gestirnsysteme macht, aus welchen das *Weltall* zusammengesetzt ist. Man nimmt dabei mit hoher Wahrscheinlichkeit an, dafs jeder Fixstern ein unserer Sonne im Allgemeinen ähnlicher, selbstleuchtender Körper sey, um welchen sich ebenfalls mehrere dunkle Körper, Planeten, Kometen u. s. w., bewegen, die von ihrem Centralkörper, wie die Planeten von unserer Sonne, Licht und Wärme erhalten, so dafs also zu jedem Fixsterne ein eigenes Sonnensystem gehört. Hier dringt sich demnach zuerst die Frage auf, wie grofs die Menge dieser Systeme sey.

A. Anzahl der Fixsterne.

Man hat über die Zahl der Fixsterne verschiedene Hypothesen aufgestellt, die aber alle ganz willkürlich und unsicher sind. Schon oben[2] wurde eine dieser Hypothesen angeführt, die sich auf die gleiche Gröfse und gleiche Vertheilung der Fixsterne im Weltraume gründet und worüber Kaestner[3] geometrische Untersuchungen angestellt hat. Eine andere Hypothese von Herschel d. ä. findet sich gleichfalls oben[4] weiter ausgeführt.

Der Winkel, unter welchem der Halbmesser a der Erdbahn von einem Gestirn gesehn wird, heifst die *jährliche Parallaxe* des Gestirns. Es ist bereits oben[5] gesagt worden, dafs man bisher noch von keinem Fixstern die Parallaxe mit voller Si-

---

1 Vergl. Art. *Weltsystem.*
2 S. Art. *Fixsterne.* Bd. IV. S. 330.
3 Dissert. math. et phys. Altenb. 1757. N. IX.
4 S. Art. *Fixsterne* a. a. O.
5 Ebend. u. Art. *Parallaxe.* Bd. VIII. S. 292.

cherheit kennt, weil der Winkel zu klein ist, als daſs unsere Instrumente ihn noch angeben könnten. Wenn diese Parallaxe bei irgend einem Fixstern eine volle Raumsecunde betrüge, so würde daraus die Entfernung R dieses Fixsterns von der Erde gleich

$$R = \frac{a}{\text{Sin. } 1''} = 206265 \text{ a}$$

betragen. Da aber der Halbmesser der Erdbahn a = 20665840 geogr. Meilen ist, so würde jene Entfernung des Fixsterns von uns oder so würde R gleich 4262640 Millionen Meilen seyn, wofür wir hier in runder Zahl 4 Billionen Meilen setzen und diese Distanz, der Kürze wegen, eine *Sternweite* nennen wollen. Es ist nicht wahrscheinlich, daſs wir einen solchen Winkel von einer ganzen Secunde an irgend einem der bisher beobachteten Fixsterne nicht bemerkt haben sollten, wenn er in der That so groſs wäre. Es scheint daher, daſs diese Winkel bei den sämmtlichen Fixsternen noch kleiner seyn müssen, als eine Secunde, d. h. also, daſs die Distanz auch des nächsten Fixsterns von uns wenigstens 4 Billionen Meilen und wahrscheinlich noch viel gröſser ist. Da das Licht in einer Secunde 41900 Meilen zurücklegt, so hat man zur bequemen Uebersicht des Folgenden die kleine Tabelle:

Jährliche Parallaxe des Fixsterns.	Entfernung von der Erde.	Zeit des Lichtes, diese Entfernung zu durchlaufen.
4 Sec.	1 Billion Meilen	0,8 Jahre
3 —	1,5 — —	1,1 —
2 —	2 — —	1,5 —
1 —	4 — —	3 —
0,5 —	8,25 — —	6 —
0,1 —	41 — —	31 —
0,01 —	412 — —	310 —

Setzt man nun voraus, daſs im Mittel alle Sterne gleich weit, nämlich eine solche Sternweite (oder 4 Bill. Meilen) von einander entfernt und daſs sie überdieſs alle nahe von gleicher Gröſse sind, eine Voraussetzung, welche die natürlichste und einfachste ist, die man annehmen kann, so werden offenbar die Sterne der zweiten, dritten, vierten... Gröſse auch 2, 3, 4.. Sternweiten, oder sie werden 2, 3, 4.. mal weiter

als die Sterne der ersten Gröſse von uns entfernt seyn. Man wird also auch auf demselben Raume des Himmels, auf welchem man im Durchschnitte nur einen Stern der ersten Gröſse (oder nur einen der uns zunächststehenden Sterne) sieht, von solchen, die zweimal weiter entfernt sind, 2^3 oder 8, und ebenso von den Sternen der dritten Gröſse oder von den dreimal weiter entfernten 3^3 oder 27, von denen der vierten Gröſsen 4^3 oder 64 u. s. w. sehen können. Da nun bei dem Fernrohre, welches Herschel zu diesem Zwecke vorzüglich angewendet hat, erst auf 70000 Gesichtsfelder desselben ein Stern der ersten Gröſse kommt, so folgt daraus, wenn er mit diesem Fernrohre in jeder Gegend des Himmels, nach welcher er dasselbe richtet, auch nur immer einen einzigen Stern in seinem Felde sieht, daſs jeder dieser Sterne im Mittel schon 41 Sternweiten (oder 164 Bill. Meilen) von uns entfernt seyn müsse, weil nämlich der Würfel von 41 nahe 70000 ist. Allein er sah mit diesem Fernrohre, wohin er es auch am Himmel wenden mochte, nicht nur einen, sondern Hunderte, ja oft selbst Tausende auf einmal in seinem Felde, so daſs also diese Sterne noch unendlich weiter als 41 Sternweiten von uns entfernt seyn müssen.

Denken wir uns einen Kegel, dessen Scheitel im Auge des Beobachters oder, was hier dasselbe ist, im Mittelpuncte der Sonne ruht, und dessen Winkel am Scheitel volle neunzig Grade beträgt. Dieser Kegel umfaſst daher den vierten Theil des Himmels und seine Axe bildet mit den Seitenlinien desselben einen Winkel von 45 Graden. Wird nun dieser Kegel durch mehrere senkrecht auf seiner Axe stehende Ebenen geschnitten, von denen die erste von dem Scheitel um eine, die zweite um zwei, die dritte um drei Sternweiten u. s. w. entfernt sind, so wird die erste Ebene die Oberfläche des Kegels in einem Kreise schneiden, dessen Halbmesser gleich einer Sternweite ist und in dessen Peripherie man daher 6 Sterne annehmen kann, die alle unter sich um eine Sternweite entfernt sind. Dieses giebt daher 6 und mit dem Sterne in dem Mittelpuncte des Kreises 7 Sterne in der ersten Ebene. Die zweite Ebene schneidet denselben Kegel in einem andern Kreise, dessen Halbmesser zwei Sternweiten beträgt und in dessen Peripherie sich daher 12 gleich weit von einander abstehende Sterne annehmen lassen. Allein um den Mittelpunct dieses Kreises

läfst sich auch noch ein anderer mit jenem concentrischer Kreis ziehen, der genau so grofs ist, wie jener der ersten Ebene, und der daher ebenfalls wieder 6 Sterne in seine Peripherie aufnehmen kann. Dieses giebt zusammen 12 und 6 oder sammt dem Sterne im Mittelpuncte dieser beiden Kreise 19 Fixsterne in der zweiten Ebene. In der dritten Ebene wird man ebenso drei concentrische Kreise ziehen, deren Halbmesser 1, 2, 3 Sternweiten betragen und von welchen der erste 6, der zweite 12, der dritte 18 Sterne enthält, so dafs also diese dritte Ebene in allem 37 Sterne aufnehmen kann. Ebenso wird die vierte Ebene 61, die fünfte 91, die sechste 127 Sterne enthalten u. s. w.

Läfst man daher die Sonne im Scheitel dieses Kegels auch für einen Stern gelten, so erhält man, wenn man diese Zahlen addirt, in dem ganzen Kegelraume von dem Scheitel

bis zum ersten Schnitte 8 Sterne
— zweiten — 27 —
— dritten — 64 —
— vierten — 125 — u. s. w.

und da diese Zahlen die Würfel der natürlichen Zahlen 2, 3, 4, 5.. sind, so folgt, dafs man überhaupt in dem Kegelraume von dem Scheitel bis zum n^{ten} Schnitte n^3 Sterne erhält, wenn man den Scheitel selbst für die erste schneidende Ebene ansieht. Legt man in die Axe dieses Kegels ein Fernrohr, so wird man damit ebenfalls einen kreisförmigen Raum des Himmels übersehen, und wenn man dann von allen Puncten der Peripherie dieses Kreises gerade Linien nach dem Auge des Beobachters zieht, so wird man einen andern, obgleich viel kleineren, Kegel erhalten, der mit jenem grofsen einerlei Scheitel und dieselbe Axe hat. Der Halbmesser dieses kreisförmigen Feldes des Fernrohres, d. h. der Halbmesser der Basis dieses kleinen Kegels, betrug bei dem von Herschel gewöhnlich gebrauchten Fernrohr 0° 13′ 5″,7 und von diesem Winkel ist das Quadrat seiner Tangente gleich 0,00001451. Der Halbmesser der Basis jenes grofsen Kegels aber beträgt 45 Grade, und von diesem Winkel ist die Tangente bekanntlich gleich der Einheit. Da aber beide Kegel dieselbe Höhe haben, so verhalten sich ihre Räume wie die Quadrate der Halbmesser ihrer Grundflächen, d. h. wie die Zahlen 1 und 0,00001451 oder auch wie die Zahlen 68918 zu 1. Allein dieselben Kegelräume verhalten sich auch wie

die Anzahl der in ihnen enthaltenen, von einander gleichweit abstehenden Sterne. In dem grofsen Kegel giebt es aber, wie wir gesehen haben, n^3 Sterne, wenn man ihn bis zum nten Schnitte fortsetzt. Nimmt man daher an, dafs man durch das Feld jenes Fernrohrs auf einmal a Sterne am Himmel sehen kann, so erhält man die Proportion

$$n^3 : a = 1 : 0{,}00001451$$

und daraus folgt, dafs die gesuchte Gröfse

$$n = \sqrt[3]{68918\,a}$$

ist. Es kommt also nur noch darauf an, zu bestimmen, wie viel Sterne man auf einmal durch dieses Fernrohr an jedem Orte des Himmels sehen kann. Gesetzt man sieht 10 solche Sterne, so ist $a = 10$ und daher $n = 88$, das heifst, wenn man durch jenes Fernrohr im Durchschnitte an jedem Puncte des Himmels zehn Sterne auf einmal erblickt, so sind die weitesten derselben 88 Sternweiten oder 352 Billionen Meilen von uns entfernt, und jener grofse, den vierten Theil des Himmels umfassende Kegel enthält 88^3 oder 681472 Sterne, von welchen die weitesten 88 Sternweiten von uns entfernt sind. Der ganze Himmel enthielt daher viermal so viel oder im Mittel 2726000 Fixsterne. Allein Herschel zählte nicht zehn, sondern mehrere Hundert, und oft selbst mehr als tausend Sterne, die er auf einmal im Felde seines Teleskops erblickte, woraus folgt, dafs die weitesten derselben

$$n = \sqrt[3]{68918000} = 410$$

Sternweiten von uns entfernt sind und dafs der ganze Himmel $4.(410)^3$ oder über 275 Millionen solcher Sterne enthält.

Die vorhergehende Annahme, dafs man mit einem guten Fernrohre, dessen Gesichtsfeld 26 Minuten im Durchmesser hat, so viele Sterne auf einmal übersieht, wird weniger befremden, wenn man weifs, dafs sie an manchen Gegenden des Himmels noch viel dichter stehn, so dafs an ein Zählen derselben gar nicht mehr gedacht werden kann. Herschel erzählt, dafs er in der Gegend der Keule Orions, in einem Streifen von 30 Quadratgraden, mehr als 50000 Sterne, die er alle noch deutlich erkennen konnte, durch das Feld seines Teleskops gehen sah. Schon Huyghens sah mit seinem noch unvollkommenen Fernrohre, dessen Feld sehr klein war, in dem Schwerte Orions

über 2000 Sterne auf einmal, und HERSCHEL sah mit seinem zwanzigfüſsigen Reflector während 41 Zeitminuten nach seiner Schätzung nicht weniger als 258000 Sterne durch sein Feld gehn. Nimmt man an, was wahrscheinlich noch viel zu wenig ist, daſs jede Quadratminute des Himmels auch nur einen einzigen Stern enthält, so würde die Anzahl aller Sterne des Himmels 41252 mal 3600 oder über 148 Millionen betragen, und diese Zahl steigt auf 534600 Millionen, wenn man auf jede Quadratsecunde einen Stern rechnet. Und immer noch sprechen wir hier von solchen Fixsternen, die wir mit unsern Fernröhren noch sehn können. Wie viele mögen aber in solchen Entfernungen von uns stehen, die unseren, auch mit dem besten Teleskope bewaffneten Augen ganz unsichtbar bleiben müssen? Wo ist überhaupt diese letzte Entfernung, wo ist die eigentliche Grenze der Sternenwelt? Die vorhergehenden Betrachtungen führen uns gleichsam von selbst auf die Nichtexistenz einer solchen Grenze, auf eine im eigentlichen Sinne des Ausdruckes zahllose, unendliche Anzahl der Fixsterne. Wenn wir unsern Blick zu diesem unübersehbaren Heer von Welten erheben und nach allen Seiten nach den äuſsersten derselben vergebens suchen, so fühlen wir uns gleichsam gezwungen, den ganzen Weltenraum nach allen Richtungen hin als völlig grenzenlos und alle Orte desselben ohne Ende als von immer neuen Welten besetzt anzunehmen. Zwar ist es uns in unserer Beschränktheit unmöglich, uns einen nach allen Seiten grenzenlosen Raum vorzustellen; aber ist es uns nicht ebenso unmöglich, den Grund aufzufinden, warum die Natur und die Wirkung ihrer schaffenden Kraft irgendwo aufgehört und sich, dem Raume sowohl als der Zeit nach, selbst eine Grenze gegeben, warum der Urheber aller Dinge, nachdem er Myriaden von Welten in ihr Daseyn gerufen, nun plötzlich in den Aeuſserungen seiner Allmacht eingehalten und sich selbst ein, wenn auch noch so entferntes, doch immer noch endliches, Ziel seiner Wirksamkeit gesetzt haben sollte? Wenn wir uns überhaupt unterfangen dürfen, unsere Gedanken bis zu dem Schöpfer des Universums zu erheben, so müssen wir ihn und seine Wirkungssphäre in doppelter Beziehung als unendlich annehmen. Die *Ewigkeit der Zeit*, in welcher er gewirkt hat und immer wirken wird, ist noch nicht hinreichend, alle die Zeugnisse des höchsten Wesens zu fassen, wenn sie nicht zugleich mit der

nach allen Seiten sich erstreckenden *Unendlichkeit des Raumes* in Verbindung gebracht wird.

Allein bei dieser, der Würde des Schöpfers allein angemessenen, Annahme begegnen wir einem andern Hindernisse, das, auf den ersten Blick wenigstens, mit jener Annahme unvereinbar scheint. Wenn nämlich die Anzahl der Fixsterne in der That unendlich ist, so müſste jeder unserer Gesichtsstrahlen, wohin man auch das Auge gegen den Himmel wenden möchte, auf einen dieser Sterne treffen und der ganze Himmel müſste uns daher in allen seinen kleinsten Puncten mit Sternen bedeckt, also auch überall so hell, wie unsere Sonne erscheinen, ja diese Sonne selbst würden wir auf dem so hellen Hintergrunde des Himmels nur an ihren dunklen Flecken erkennen; auch würden uns die Planeten nur als dunkle Scheiben auf diesem lichten Himmelsgewölbe erscheinen, und von den Sternen selbst würden wir endlich nichts als ein nach allen Seiten gleichförmig vertheiltes, blendendes Licht erblicken. Da dieses alles gegen die Erfahrung streitet, so müssen wir diesen Widerspruch, wenn wir die Unendlichkeit des mit Welten besäeten Raumes noch ferner beibehalten wollen, auf irgend eine befriedigende Art zu lösen suchen.

Dieses hat Olbers[1] auf eine sehr glückliche Weise gethan, indem er von der Voraussetzung ausging, daſs der Weltenraum nicht ganz undurchsichtig ist, eine Annahme, die erst in unseren Zeiten einen noch höheren Grad der Wahrscheinlichkeit erreicht hat, da der sogenannte Encke'sche Komet das Daseyn eines durch den Weltraum zerstreuten, sehr feinen Aethers beinahe unabweisbar gemacht hat, wenn wir uns anders von der regelmäſsigen Verkürzung seiner Umlaufszeit Rechenschaft geben wollen. Sollte aber der Weltraum mit einer solchen Materie in allen seinen Puncten erfüllt seyn, so ist wohl die unmittelbare Folge davon, daſs das Licht der Sterne auf seiner Bahn durch diesen Raum eine Schwächung erleiden müsse. Es geht aber aus der Natur der im Lichtäther fortschreitenden Lichtwellen hervor, daſs auch diese, wie alle andern Wellen, mit der Entfernung von ihrem Ursprunge an Intensität abnehmen und endlich ganz aufhören müssen[2]. Nehmen wir mit Olbers an, daſs von 800

---

1 Berliner Jahrbuch für d. Jahr 1826.
2 Vergl. Art. *Wellen*.

Lichtstrahlen, die der nächste Stern zu uns sendet, durch den Widerstand jenes Aethers auch nur ein einziger verloren gehe, und sehen wir, welche Folge diese Annahme haben müsse. Denken wir uns dieses Sternenlicht als in einem Strahlencylinder eingeschlossen, so wird die gesehene Helligkeit des Sternes der Dichte der Strahlen in diesem Cylinder proportionirt seyn und die Abnahme der Dichte des Lichts wird sich wie diese Dichte der Strahlen verhalten. Ist daher y die Dichte des Lichtes in der Entfernung x von dem Stern, so wird man den Ausdruck haben

$$\partial y = - a y \partial x,$$

wo a eine constante Gröfse bezeichnet. Integrirt man diese Gleichung so, dafs $y = A$ für $x = 0$ ist, so erhält man, wenn man die natürlichen Logarithmen nimmt,

$$\text{Log.} \frac{y}{A} = - a x.$$

Nach der obigen Voraussetzung ist, wenn der Abstand des nächsten Sterns oder die *Sternweite* gleich der Einheit gesetzt wird, der Werth von $y = 799$ und $A = 800$, so dafs man also nach der letzten Gleichung für den Werth der Constante a den Ausdruck $a = 0{,}0005432$ erhält. Setzt man also die Gröfse A, oder die Helligkeit unserer Sonne, ebenfalls gleich der Einheit, so hat man

$$\text{Log. } y = - 0{,}0005432 x,$$

und aus dieser Gleichung folgt, dafs man hat

für die Sternweite	die Helligkeit des Sternes
84	0,9
554	0,5
5520	0,001 u. s. w.,

so dafs also die um 554 Sternweiten (2216 Billionen Meilen) von uns entfernten Sterne unter jener Voraussetzung nur ungefähr mit der Hälfte ihres ursprünglichen Lichtes zu uns gelangen werden. Die Helligkeit unsers Vollmonds ist bekanntlich nur der 300000ste Theil der Helligkeit des Sonnenlichtes. Setzt man also $y = \frac{1}{300000}$, so giebt die letzte Gleichung $x = 10083$, oder in der Distanz von 10083 Sternweiten wird die Helligkeit des Sternes nur ungefähr die unsers Vollmondes seyn, und es werden daher sehr viele solcher dichtgedrängten Sterne erfordert werden, um uns diesen Sternhaufen selbst in

der dunkelsten Nacht noch als einen blassen Nebelfleck erkennen zu lassen. Jener Einwurf kann dahef nicht weiter als ein Beweis gegen die unendliche Anzahl der Himmelskörper angesehen werden, und da die letzte aus andern unabweisbaren Gründen angenommen werden mufs, so wird es nicht weiter nöthig seyn, die andern Versuche, die Anzahl der Sterne zu bestimmen, welche die Astronomen von Zeit zu Zeit ausgedacht haben, hier näher anzuführen.

B. Vertheilung der Fixsterne.

Wir sehen die Fixsterne am Himmel auf eine, wenigstens scheinbar sehr unregelmäfsige, Weise vertheilt, da sie an vielen Orten sehr gedrängt, an andern wieder durch beträchtliche Zwischenräume von einander getrennt erscheinen. Da wir aber einmal gewohnt sind, in der Natur überall Ordnung und Regelmäfsigkeit zu erblicken, so hat man sich von jeher bemüht, dieselbe auch hier wieder aufzufinden. Thomas Wright trägt in einem mit prachtvollen Abbildungen begleiteten Werke[1] seine Ansicht vor, nach welcher die Fixsterne am Himmel alle in gleichen Entfernungen und in regelmäfsigen Lagen vertheilt sind, die uns aber nur deshalb so unordentlich erscheinen, weil wir sie nicht aus der gehörigen Stelle betrachten. Er meint, dafs sich die Reihen der Sterne vorzüglich durch die Ebene der Milchstrafse hin erstrecken, daher sie uns, die wir ebenfalls in oder nahe bei dieser Ebene liegen, nach dieser Richtung ohne Vergleich dichter gedrängt erscheinen, als nach allen andern. Allein seine sogenannte Theorie ist blofs auf Imagination, nicht aber auf Beobachtungen und noch weniger auf eigentliche Berechnung gestützt und kann daher hier nur als ein schön ausgestattetes Gedicht betrachtet werden. Wie Kant diese Idee aufnahm und mit seinem Scharfsinne weiter ausbildete[2], ist bereits oben[3] erwähnt worden. Noch umständlicher und mit mehr mathematischer Unterlage vorgetragen findet man diesen Gegenstand in den „Cosmologischen Briefen" von Lambert. Nach ihm sollen nämlich alle aufserhalb der Milchstrafse lie-

1 An original Theory of the Universe. Lond. 1750. 4.
2 Allgemeine Naturgeschichte des Himmels. 4te Aufl. 1808.
3 S. Art. *Milchstrafse*. Bd. VI. S. 2282.

gende und nach allen Richtungen zerstreut erscheinende Sterne zusammen ein einziges *Fixsternsystem* ausmachen, zu welchem auch unsere Sonne selbst, als ein kleiner Theil dieses Systems, gehört. Ueberdiefs sollen aber eine unzählige Menge solcher Sonnensysteme (nicht blofs solcher einzelnen Sonnen) in unermefslichen Reihen hinter einander und zwar alle nahe in einer bestimmten Ebene (der *Milchstrafse*) liegen, so dafs zu jedem dieser Syteme viele Tausende von Sonnen gehören, wo dann jede dieser Sonnen wieder ihre bestimmte Anzahl von Planeten und Kometen hat. Obgleich nun die einzelnen Sonnen in jedem dieser besondern Systeme schon ungemein weit von einander entfernt sind, so sind doch die Abstände noch viel gröfser, welche diese Fixsternsysteme selbst von einander trennen. Ein solcher Abstand befindet sich also auch zwischen dem oben erwähnten Fixsternsysteme (zu dem unsere Sonne mit ihren Planeten gehört, und das sich für uns scheinbar über den ganzen Himmel verbreitet) und den übrigen Fixsternsystemen, deren vereinter Glanz die Erscheinung der Milchstrafse veranlafst.

Aus dieser Anordnung sucht Lambert zu erklären, warum uns der Rand der Milchstrafse so deutlich begrenzt erscheint. Man stelle sich auf einer Ebene mehrere tausend Reihen von Lichtern in gleichen Entfernungen vor, setze nahe über und unter diese Schicht noch eine Anzahl, z. B. funfzig andere ähnliche Schichten, und bringe endlich das Auge in die Mitte des Ganzen. Wenn nun das Auge über oder unter sich in einer auf jene Ebene senkrechten Richtung schaut, so wird es nur funfzig Lichter in einer Reihe auf- oder abwärts erblicken. Je mehr es sich aber gegen den Horizont (gegen jene Ebene hin) wendet, desto mehr wird die Anzahl derselben zunehmen, und endlich werden im Horizonte selbst viele tausend Lichter hinter einander zu liegen scheinen. Allein dieser hellste Streifen des Horizonts wird weder auf der obern noch auf der untern Seite desselben scharf begrenzt seyn, sondern nur allmälig an Licht abnehmen, je weiter er von jener Ebene entfernt ist. Man ändere nun diese Stellung der Lichter dahin, dafs man zwar die nächsten Lichter um das Auge herum, wie zuvor, stehn läfst, aber zwischen diesen und den übrigen einen grofsen, breiten Kreis oder Ring davon wegnimmt. Auch von diesen übrigen lasse man nur da und dort einige in ihrer vorigen Stellung

stehn, und nehme auch rings um sie einen ähnlichen breiten Ring von diesen Lichtern weg, so daſs also statt der vorigen hundert Ebenen, die überall mit gleichabstehenden Lichtern besetzt waren, jetzt nur hundert unter sich parallel und eng an einander gestellte Ebenen bleiben, auf deren jeder bloſs einzelne Kreise stehen bleiben, deren jeder z. B. nur 20 oder 30 Lichter enthält, so daſs diese einzelnen Kreise jeder Ebene durch bedeutende Zwischenräume von einander getrennt sind. Bei dieser Anordnung wird das Auge, wenn es senkrecht auf diese Ebene über oder unter sich sieht, zwar auch noch die Lichter desjenigen Kreises, in welchem es selbst steht, (die Sterne *seines* Fixsternsystems) nach allen Seiten nahe gleich zerstreut erblicken, aber die andern Lichtkreise (die andern Fixsternsysteme) werden desto schwächer erscheinen, je weiter sie vom Auge abstehen, und der Lichtglanz, den sie alle zusammen verbreiten, wird dem Auge als ein heller Kreis (die *Milchstraſse*) erscheinen, dessen Grenze in der Nähe jener Ebene desto schärfer abgeschnitten sich darstellen wird, je weiter jene einzelnen Lichtkreise von einander entfernt oder je kleiner diese Kreise im Verhältniſs zu den sie von einander trennenden leeren Zwischenräumen seyn werden.

In unserm Fixsternsysteme liegt unsere Sonne nach Lambert nicht in der Mitte, sondern der Gegend des Adlers näher, weil uns hier die Sterne in geringerer Anzahl und zerstreuter erscheinen. Die Mitte des Systems verlegt er in die Nähe des Orions oder des groſsen Hundes. Die Milchstraſse selbst ist ihm also aus lauter solchen besonderen, dem unsern ähnlichen, Fixsternsystemen zusammengesetzt, deren jedes uns nur wie ein blasses Wölkchen (oder wie ein Nebelfleck) erscheinen würde, während sie, alle vereinigt, diese lichte Zone bilden, die den ganzen Himmel gleich einem gröſsten Kreise zu umgeben scheint. Jedes einzelne dieser Fixsternsysteme hat ohne Zweifel seinen eignen (hellen oder dunklen) Centralkörper, der in unserm Systeme vielleicht der Sirius oder der groſse Nebel Orions ist, und alle diese die Milchstraſse bildende unzählige Fixsternsysteme machen wieder ein System höherer Ordnung aus, in dessen Mittelpuncte sich ebenfalls ein Hauptkörper von einer noch beträchtlichern, seinem ungeheuren Gebiete angemessenen, Gröſse befinden wird. Mehrere solcher Milchstraſsen zusammen bilden dann ein noch höheres System, und so wird man viel-

leicht durch unzählige solche Ordnungen und Stufen aufsteigen müssen, ohne sich doch je dem Mittelpuncte oder der Grenze des Ganzen zu nähern, da ein nach allen Seiten ins Unendliche ausgedehnter Raum weder Mittelpunct noch Grenze haben kann.

C. Entfernung oder Parallaxe der Fixsterne.

Die *Milchstraſse*, zu der wir gehören besteht also nach dem Vorhergehenden aus einer zahllosen Menge von einzelnen Fixsternsystemen, welche letztere unter sich durch für uns ganz unmeſsbare Räume getrennt sind. Jedes solcher besondern *Fixsternsysteme* besteht wieder aus Tausenden von einzelnen Fixsternen, d. h. aus ebenso vielen einzelnen Sonnen, deren eine unsere Sonne ist, und auch diese einzelnen Sonnen sind wieder von einander so weit entfernt, daſs wir auch diese Distanzen, wie wir bald sehen werden, noch nicht, auch nur mit einiger Sicherheit, anzugeben im Stande sind. Jede solche Sonne endlich ist wieder der Centralkörper eines eignen *Sonnensystems*, d. h. eines Systems von Planeten und Kometen, die sich nach bestimmten Gesetzen um diese einzelne Sonne bewegen und von ihr Licht und Wärme erhalten.

Man hat die Astronomie die Königin der Wissenschaften genannt. In der That beschäftigt sie sich mit dem Gröſsten und Herrlichsten, das dem menschlichen Geiste zur Betrachtung vorgelegt werden kann; auch ist dieser Geist in der Erkenntniſs jenes erhabenen Gegenstandes weiter, als vielleicht in irgend einer andern, vorgedrungen. Und doch, was ist uns von diesem Gegenstande bekannt geworden? Wir haben nach den angestrengtesten Bemühungen mehrerer Jahrtausende einige wenige Eigenschaften von unserem, uns zunächst umgebenden *Sonnensystem* kennen gelernt, aber sogar von unserm *Fixsternsysteme* wissen wir nicht viel mehr als nichts; von unserer *Milchstraſse* endlich erlauben wir uns einige Ahnungen, Phantasiespiele, nicht viel mehr, als Träume. Was vollends über dieses letzte System hinaus liegt, wird dem körperlichen und geistigen Auge des Menschen wahrscheinlich für immer unbekannt bleiben.

Gehen wir also wieder zurück aus diesen uns ewig fremden Regionen zu *unserem Fixsternsysteme*, d. h. zu derjenigen Sammlung von vielleicht vielen Tausenden von Fixsternen, die

uns und unsere Sonne, die selbst einer dieser Fixsterne ist, zunächst umgeben und die zusammen ein in sich abgeschlossenes Ganze bilden, das von den übrigen ähnlichen Sterngebäuden, wie wir oben gesagt haben, durch Zwischenräume getrennt ist, gegen welche selbst die Distanzen dieser einzelnen Sonnen unter sich vielleicht wieder nur wie untheilbare Puncte verschwinden. Hier drängt sich uns also zuerst die Frage auf, welches sind diese Distanzen von unserer Sonne zu den übrigen Sonnen dieses unsers Fixsternsystems? Dieses ist die Frage von der sogenannten *jährlichen Parallaxe* der Fixsterne, die zwar oben[1] bereits öfter berührt, aber noch nicht der Gröſse und Wichtigkeit des Gegenstandes gemäſs behandelt worden ist, daher wir hier das Vorzüglichste über denselben in Kürze nachtragen wollen.

Nennt man a den Halbmesser der hier als kreisförmig angenommenen Bahn der Erde um die Sonne, und R die Distanz irgend eines Gestirns von dem Mittelpuncte dieser Erdbahn, so wird der Winkel π, unter welchem ein Auge in diesem Gestirn den auf seine Gesichtslinie senkrechten Halbmesser der Erdbahn sieht, durch die Gleichung

$$\text{Sin. } \pi = \frac{a}{R}$$

gegeben, und π heiſst die *jährliche Parallaxe* des Gestirns, so daſs also, wenn dieser Winkel π durch irgend eine Beobachtung gegeben wird, dadurch auch die Entfernung R des Gestirns in Theilen des Halbmessers der Erdbahn durch die Gleichung $R = \frac{a}{\text{Sin. } \pi}$ bekannt ist.

Diese Gleichung kann, so lange der Winkel π nur klein ist, auch so ausgedrückt werden:

$$\pi \text{ Sin. } 1'' = \frac{a}{R},$$

oder wenn man R in Theilen des Halbmessers der Erdbahn, also a gleich der Einheit nimmt,

$$\pi = \frac{206265}{R}.$$

Ist also $R = 57$ Halbmesser der Erdbahn, so ist $\pi = 3618$ Sec. oder so ist π nahe gleich einem Grad. Ist $R = 3438$, so

1 S. Art. *Fixsterne* und *Parallaxe.*

ist π gleich einer Minute. Ist endlich $R = 206265$, so ist π gleich einer Secunde. Die folgenden zwei kleinen Tafeln geben einen Ueberblick dieser Verhältnisse.

π in Minuten	R
60	57
30	115
20	172
10	344
5	688
4	859
3	1146
2	1719
1	3438

π in Secunden	R
60	3438
30	6875
20	10313
10	20626
5	41255
4	51566
3	68755
2	103132
1	206265

Als Copernicus seine neue Lehre von der Bewegung der Erde um die Sonne aufstellte, war der wichtigste Einwurf seiner Gegner der, daſs man diese Bewegung der Erde an einer daraus entspringenden scheinbaren Verrückung (Parallaxe) der Fixsterne bemerken müſste. Da man diese aber nicht bemerkte, so schloſs der kühne, seiner guten Sache fest vertrauende Mann daraus, daſs die Entfernung der Fixsterne *unendlich groſs* und daher jene scheinbare Bewegung derselben für uns unendlich klein oder unbemerkbar seyn müsse. Da aber die besten astronomischen Beobachtungen seiner Zeit höchstens auf *vier* Minuten verläſslich waren, so hieſs dieses mit andern Worten: die Entfernung der Fixsterne von uns muſs über 1719 Halbmesser der Erdbahn betragen, weil wir ihre Parallaxe nicht mehr bemerken können. Wie viel sie über diese Grenzen hinausgehe, blieb unbekannt. Tycho Brahe war der erste, dessen Beobachtungen die Genauigkeit von einer Minute hatten, daher auch alle unsere astronomischen Kenntnisse, die genauere Beobachtungen verlangen, erst mit ihm beginnen. Auch Tycho fand aber keine Parallaxe der Fixsterne, d. h. aus seinen Beobachtungen folgt, daſs die Entfernung der Fixsterne über 6875 Halbmesser der Erdbahn betragen müsse. Unsere gegenwärtigen Beobachtungen haben gewiſs die Genauigkeit von zwei Secunden, und wenn auch wir keine Parallaxe der Fixsterne finden, so dürfen wir sagen, daſs ihre Entfernung wenigstens 206265 Halbmesser der Erdbahn betragen müsse, so daſs unsere Grenze

des Mefsbaren 120mal weiter hinausgerückt ist, als die des Copernicus, und 30mal weiter, als die des Tycho.

Um diese Betrachtungen mehr zu versinnlichen, denken wir uns einen irdischen Gegenstand C, der von dem Beobachter nahe eine deutsche geographische Meile (oder 22830 Par. Fufs) entfernt ist. Wenn der Beobachter die Entfernung dieses Gegenstandes von sich messen will, ohne zu ihm selbst gelangen zu können, so mufs er den Gegenstand bekanntlich von den zwei Endpuncten einer Standlinie (einer Basis) beobachten. Sey AB diese Basis, und nehmen wir an, dafs der Beobachter in dem Dreiecke ABC die beiden Winkel A und B mit seinem Instrumente gemessen habe, aus deren Unterschiede er dann, mit der bekannten Länge seiner Basis AB, die gesuchte Entfernung des Gegenstandes C durch die bekannten Vorschriften der Geometrie finden will. Wie grofs wird er diese Basis nehmen müssen, damit ihm die Entfernung des Gegenstandes nicht unendlich, nicht unermefslich erscheine? Offenbar wird diese Basis desto kleiner seyn dürfen, je besser sein Instrument ist. Fig. 122.

Nehmen wir an, sein Instrument sey dem erwähnten Tychonischen gleich, das nämlich nicht eher einen Unterschied der beiden Richtungen des Gegenstandes C in den Puncten A und B zeigt, als bis dieser Unterschied eine volle Minute beträgt. Dann wird also, wie die vorige Tafel zeigt, die Basis AB der 3438ste Theil der Entfernung des Gegenstandes seyn, also

$$\frac{22830}{3438} = 6{,}64 \text{ Fufs oder nahe 6 Fufs 8 Zoll betragen müssen,}$$

und kürzer darf diese Basis nicht seyn, wenn der nahe eine Meile entfernte Gegenstand mit diesem Instrumente nicht unermefslich weit entfernt erscheinen soll. Haben aber die Beobachtungen eine sechsmal gröfsere Genauigkeit, oder kann man mit einem anderen Instrumente bis auf 10 Sec. genau beobachten, so hört jene Entfernung schon auf, unermefslich zu seyn, wenn die Basis AB auch nur 13 Zoll beträgt. Und ebenso wird für ein Instrument, mit dem man bis auf

5, 4, 3, 2 und 1

Secunden genau messen kann, die Basis in derselben Ordnung nur ungefähr

7, 5, 4, 3, 1

Zoll betragen dürfen, um jene Distanz des Gegenstandes (von

nahe einer deutschen Meile) nicht mehr unermeſslich zu finden. Die Messung der Distanz eines Fixsterns aber, dessen Parallaxe 30 oder 5 oder $\frac{1}{2}$ Secunde beträgt, und dessen Entfernung also in derselben Ordnung 6876 oder 41255 oder 412530 Halbmesser der Erdbahn erreicht, ist weder mehr noch weniger schwierig, als die Messung der Distanz eines eine Meile entfernten irdischen Gegenstandes, von einer Basis aus, deren Länge, wieder in derselben Ordnung, 6 Fuſs 8 Zoll oder 13 Zoll oder endlich nur einen einzigen Zoll beträgt.

Man sieht überhaupt aus jener Gleichung, daſs jeder gegebene Fehler der Beobachtung in dem Winkel π auf die gesuchte Entfernung R einen um so nachtheiligern Einfluſs hat, je gröſser diese Entfernung R oder, was dasselbe ist, je kleiner die Parallaxe π des Gestirns ist. In der That kann man die vorhergehende Gleichung, wenn π in Secunden ausgedrückt wird, auch so schreiben:

$$R = 206265 \frac{a}{\pi},$$

und davon ist das Differential in Beziehung auf R und π gleich

$$\partial R = - 206265 \frac{a \partial \pi}{\pi^2}.$$

Nimmt man also den Beobachter a der Erdbahn für die Einheit an, und setzt man den Fehler der Beobachtung $\partial \pi = \frac{1}{100}$ Secunde, so erhält man

$$R = \frac{206265}{\pi} \text{ und } \partial R = - \frac{2063}{\pi^2}.$$

Nach diesen Ausdrücken ist folgende kleine Tafel berechnet worden, die für die verschiedenen Werthe von π in der zweiten Columne die entsprechenden Werthe von R, und in der dritten die Fehler ∂R dieser Entfernung für den Fehler $\partial \pi = 0'',01$ der Parallaxe giebt.

π	R	∂ R
10″	20626	— 21
5	41253	— 82
4	51566	— 129
3	68755	— 229
2	103132	— 516
1	206265	— 2063
0,9	229180	— 2546
0,8	257830	— 3222
0,7	294660	— 4209
0,6	343770	— 5729
0,5	412530	— 8250
0,4	515660	— 12892
0,3	687550	— 22918
0,2	1031300	— 51566
0,1	2062600	— 206260

In dieser Tafel sind die Werthe von π in Secunden und die von R und ∂ R in Theilen des Halbmessers a der Erdbahn ausgedrückt, wonach bekanntlich a = 20665840 geogr. Meilen, deren 15 auf einen Grad des Aequators gehn, ist. Ist z. B. die Parallaxe π gleich einer Secunde, so erhält man für die Entfernung R = 206265 a oder R = 4262640 Millionen Meilen, wofür wir oben der Kürze wegen in runder Zahl 4 Billionen Meilen als das Maſs einer *Sternweite* angenommen haben. Wird dieser Winkel nur um $\frac{1}{100}$ Sec. unrichtig beobachtet, so erhält man für den aus diesem Fehler entstehenden Irrthum der Entfernung die Gröſse ∂ R = 2063 a oder nahe R = 42626 Millionen Meilen, so daſs also der Fehler in R nahe den hundertsten Theil des Ganzen beträgt. Viel gröſser wird dieser Fehler, wenn der Winkel π noch kleiner ist. Für π = 0″,1 hat z. B. derselbe Fehler von $\frac{1}{100}$ Secunde schon einen Fehler von R zu Folge, der den zehnten Theil des Ganzen oder über 4 Billionen Meilen ausmacht, da zu π = 0″,1 die Distanz R nahe gleich 42625361 Millionen Meilen ist oder im Mittel 10 Sternweiten beträgt.

Um nun diese Parallaxe eines Fixsterns durch Beobachtungen zu bestimmen, kann man auf folgende Weise verfahren. Seyen a und p die Rectascension und Poldistanz des aus dem Mittelpuncte der Sonne und a′, p′ des aus der Oberfläche der Erde gesehenen Sterns, so wie A und P die Rectascension und

Poldistanz des Mittelpunctes der Erde selbst, r die Entfernung des Sterns von der Sonne und r' von der Erde, so hat man, wenn man wieder die halbe grofse Axe der Erdbahn als Einheit der Distanzen voraussetzt, folgende drei Gleichungen:

$$r' \text{Cos. } a' \text{ Sin. } p' = r \text{ Cos. } a \text{ Sin. } p + \text{Cos. } A \text{ Sin. } P,$$
$$r' \text{Sin. } a' \text{ Sin. } p' = r \text{ Sin. } a \text{ Sin. } p + \text{Sin. } A \text{ Sin. } P,$$
$$r' \text{Cos. } p' = r \text{ Cos. } p + \text{Cos. } P.$$

Setzt man die jährliche Parallaxe $\frac{1}{r}$ gleich π, so giebt die Division der beiden ersten dieser Gleichungen

$$\text{Tang. } a' = \frac{\text{Sin. } a \text{ Sin. } p + \pi \text{ Sin. } A \text{ Sin. } P}{\text{Cos. } a \text{ Sin. } p + \pi \text{ Cos. } A \text{ Sin. } P.}$$

Dieser Ausdruck läfst sich, nach dem bekannten Verfahren, leicht in die folgende Reihe entwickeln:

$$a' - a = m \text{ Sin. } (A-a) - \tfrac{1}{2} m^2 \text{ Sin. } 2(A-a) + \tfrac{1}{3} m^3 \text{ Sin. } 3(A-a) - ..,$$

wo der Kürze wegen

$$m = \pi \frac{\text{Sin. } P}{\text{Sin. } p}$$

gesetzt worden ist. Ebenso erhält man

$$p' - p = \pi \left(\text{Sin. } (P-p) + 2 \text{ Cos. } p \text{ Sin. } P \text{ Sin.}^2 \frac{A-a}{2} \right).$$

Man sieht aus diesen beiden Ausdrücken von der jährlichen Parallaxe $\partial a = a' - a$ der Rectascension und $\partial p = p' - p$ der Declination, dafs die zweite oder dafs ∂p immer kleiner ist, als die absolute Parallaxe π, während im Gegentheil die Parallaxe ∂a der Rectascension oft beträchtlich gröfser als π werden kann, so dafs es demnach vortheilhafter ist, die Beobachtungen der Rectascension zur Bestimmung der Parallaxe π der Fixsterne zu wählen. Nachdem aber mehrere Astronomen mit den besten Instrumenten auf diesem Wege die Parallaxe nicht gefunden hatten, weil die Winkel, welche sie für ∂a erhielten, zu klein waren, um noch von ihrem Instrumente mit Sicherheit angegeben zu werden, so suchte man wenigstens die *Summe* der Parallaxe zweier Sterne, in der Hoffnung, dafs diese bedeutend genug seyn werde, um noch mit Verläfslichkeit beobachtet werden zu können. Wählt man nämlich ein solches Sternpaar, dessen Rectascensionen a und a' nahe um 180 Grade verschieden sind, und nimmt man vorläufig die Parallaxe ∂a für beide Sterne gleich grofs an, so wird man durch die erste Beobachtung dieser Sterne die Rectascension des einen gleich

$a + \partial a$ und die des andern gleich $a' - \partial a$, also beider Differenz $\Delta = a - a' + 2\partial a$ finden. Nach einem halben Jahre aber werden die beobachteten Rectascensionen derselben Sterne $a - \partial a$ und $a' + \partial a$, also beider Differenz $\Delta' = a - a' - 2\partial a$ seyn, wodurch man daher

$$\Delta - \Delta' = 4\partial a$$

oder die doppelte Summe beider Parallaxen erhält, die vielleicht für unsere Instrumente noch merkbar seyn wird, wenn auch die einzelnen Parallaxen selbst nicht mehr unterschieden werden können. Uebrigens wird man zu diesem Zwecke die beiden Sterne in jenen zwei Jahreszeiten beobachten, wo die Parallaxen ihrer Rectascensionen den gröſsten positiven und negativen Werth haben, d. h., wie aus der vorhergehenden Gleichung für ∂a folgt, wenn a gleich $90 + A$ oder gleich $270 + A$ ist.

Stellen wir nun das Vorzüglichste zusammen, was seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts über die Parallaxe der Fixsterne durch unmittelbare Beobachtungen derselben gefunden worden ist. Einer der gröſsten praktischen Astronomen, James Bradley, der zugleich mit den besten Instrumenten seiner Zeit versehen war, stellte die Behauptung auf, daſs die beiden Fixsterne γ Draconis und η Ursae majoris (die er durch eine Reihe von vielen Jahren mit der gröſsten Aufmerksamkeit verfolgte und aus welchen Beobachtungen er auch seine bekannte Entdeckung der Aberration und der Nutation ableitete) eine jährliche Parallaxe von einer halben Secunde nicht haben können, weil sie ihm sonst nicht entgangen seyn würde. Seitdem hat man gleichsam stillschweigend angenommen, daſs die Parallaxe aller Fixsterne ebenfalls zu klein sey, um durch unsere Instrumente noch erkennbar zu werden, was aber offenbar unrecht ist und aus Bradley's Behauptung, sofern er nur von zwei Sternen spricht, nicht gefolgert werden kann. Funfzig Jahre später, im Anfange des gegenwärtigen Jahrhunderts, ging ein anderer groſser Beobachter, Piazzi in Palermo, zu der Untersuchung dieses Gegenstandes über. Er fand die Parallaxe von α Aurigae, α Bootis und α Aquilae allerdings sehr nahe gleich Null oder ganz verschwindend, allein für die Sterne α Tauri, α Canis maj., α Canis min. und α Lyrae fand er aus seinen Beobachtungen Parallaxen, die von 2″ bis zu vollen 10″ gingen. Besonders hielt er die Parallaxe von 4″ für α Can. maj. für sehr wahrscheinlich; für α Lyrae fand er 2″ und bald darauf Calandrelli in Rom mit einem

weniger vorzüglichen Instrumente sogar 4″4. Später untersuchte Bessel alle von Bradley in dem Laufe von zwölf Jahren auf der Sternwarte zu Greenwich beobachteten Rectascensionen der beiden Sterne α Can. maj. und α Lyrae, die sich (wegen ihres Unterschiedes von 180 Graden in der Rectascension) besonders zu eignen schienen, die Summe ihrer Parallaxen, nach dem oben bestimmten Verfahren, zu bestimmen, allein er fand aus 207 Beobachtungen dieser Sterne die Summe ihrer Parallaxen gleich 0″,044. Für ein anderes Sternpaar, α Can. min. und α Aquilae, fand Bessel aus 200 Beobachtungen die Summe ihrer Parallaxen gleich 0″,93.

Brinkley in Dublin, mit einem Meridiankreise von acht Fufs im Halbmesser, wählte die Beobachtung der Declination zur Bestimmung der Parallaxe. Er fand für α Aquilae 2″,7, für α Lyrae 1″,1 und für α Bootis und α Cygni nahe eine Secunde. Brinkley selbst legte diesen Resultaten einen grofsen Werth bei und vertheidigte sie volle neun Jahre gegen die Angriffe Pond's, des kön. Astronomen in Greenwich, der ihnen nicht dasselbe Vertrauen schenken wollte. Pond selbst benutzte nicht nur seine trefflichen Meridiankreise zu seinen viele Jahre lang eifrig fortgesetzten Beobachtungen der Parallaxe, sondern er befestigte auch mehrere grofse, zehn Fufs lange Fernröhre an steinerne Pfeiler so, dafs sie auf bestimmte Sterne gerichtet blieben und ihren Declinationsunterschied von anderen, ihrem Parallel nahen Sternen durch ein Fadenmikrometer angaben. Aber alle seine Beobachtungen vereinigten sich dahin, dafs die Parallaxe aller von ihm auf diese Weise beobachteten Fixsterne für uns unmerklich ist. Auch Airy, der Nachfolger Pond's, ist durch seine eigenen Beobachtungen zu denselben Resultaten gelangt.

Schon der ältere Herschel war der Ansicht, dafs fixe Mefsinstrumente zu diesem Zwecke, wo es sich um die Existenz von Winkeln handelt, die vielleicht nur einige Zehntheile von Secunden betragen, nicht geeignet sind. Er schlug daher zur Bestimmung der Parallaxe die Beobachtung der *Doppelsterne* vor, indem er voraussetzte, dafs diese Doppelsterne nur scheinbar doppelt seyn, dafs sie nur zufällig auf derselben Gesichtslinie, aber vielleicht in sehr grofsen Distanzen hinter einander liegen. Unter dieser Voraussetzung war die Hoffnung gegeben, dafs man durch fortgesetzte Vergleichung eines solchen Sternpaares die Veränderungen wohl bemerken würde, welche der

nähere derselben durch die Parallaxe erleidet, während der entferntere, als in einer unendlichen Entfernung angenommen, gleichsam einen festen und unveränderlichen Punct des Himmels bezeichnet, der eben zur Bestimmung der Veränderung des andern Sternes sehr geschickt seyn wird. Allein er fand bekanntlich, bald nachdem er diese Beobachtungen begonnen hatte, ganz etwas anderes, als was er in der That suchte. Er fand, daſs bei weitem die meisten dieser Doppelsterne zusammengehören und ein System für sich bilden, wodurch demnach seine erste Hypothese widerlegt oder doch in den meisten Fällen unanwendbar gemacht wurde. α Lyrae der Iten Gröſse und sein kleiner Begleiter in 43 Sec. Entfernung von der XIten Gröſse machen von diesen Doppelsternen eine Ausnahme; sie sind in der That, da sie ganz verschiedene eigene Bewegungen haben, nur scheinbar, nicht wahrhaft doppelt, nicht zu einem System gehörend. Struve hat bereits angefangen, dieses Sternpaar in dieser Beziehung zu verfolgen. Aus den bisherigen Beobachtungen, die aber fortgesetzt werden, fand er die jährliche Parallaxe $= 0'',2613$ mit dem wahrscheinlichen Fehler $\pm 0'',025$. Dieſs giebt die Entfernung von der Sonne gleich 771400 Halbmessern der Erdbahn, eine Entfernung, die das Licht in 12 Jahren durchläuft. Struve hofft aus guten Gründen, daſs er die Parallaxe von α Lyrae auf diesem Wege in sehr enge Grenzen einschlieſsen werde.

Bisher wählte man zu diesen Bestimmungen durchaus nur die gröſsern oder hellern Sterne, in der Voraussetzung, daſs sie eben deshalb auch die *näheren* seyn müſsten. Bessel stellte zuerst die Behauptung auf, daſs auch diejenigen Sterne, die eine gröſsere eigene Bewegung haben, wahrscheinlich zu den näheren gezählt, daſs sie daher, wenigstens in Beziehung auf ihre Nähe, vorzugsweise untersucht werden sollten. Unter allen uns bekannten Gestirnen des Himmels ist der Doppelstern 61 Cygni derjenige, dessen eigene Bewegung am gröſsten ist. Sie beträgt in Rectascension jährlich $+ 5'',15$ und in Declination $+ 3'',12$. Bessel verglich ihn mit zwei andern kleinen Sternen der Xten Gröſse in seiner Nachbarschaft, und setzte diese Beobachtungen eine längere Zeit an seinem groſsen Heliometer fort. Als Endresultat seiner Untersuchungen findet er[1] die jährliche Parallaxe von

---

1 Astronom. Nachrichten. Nr. 366.

61 Cygni gleich 0″,3136 mit dem mittleren Fehler ± 0″,0202, und man darf hinzusetzen, daſs diese Bestimmung einer Parallaxe genauer ist, als irgend eine der bisher angestellten, wie denn auch die angeführten Rechnungsdarstellungen einen hohen Grad von Vertrauen in die daraus abgeleiteten Resultate einzuflöſsen geeignet erscheinen. Diese Parallaxe giebt die mittlere Entfernung des Fixsterns 61 Cygni von der Sonne gleich 657700 Halbmessern der Erdbahn oder nahe 13592000 Millionen Meilen, oder endlich etwas über drei solche Sternweiten, deren wir oben jede zu 4 Billionen Meilen angenommen haben. Die Zeit, welche das Licht braucht, diese Distanz zu durchlaufen, ist 10,3 Jahre. Wenn ein Dampfwagen täglich 200 Meilen zurücklegte, so würde er nahe 200 Millionen Jahre brauchen, um bis zu jenem Sterne zu gelangen. Da ferner die jährliche eigene Bewegung dieses Doppelsterns, nach dem Vorhergehenden, in einem gröſsten Kreise des Himmels gezählt, gleich 5″,123 ist, so ist die relative jährliche Bewegung unseres Sonnensystems und dieses Doppelsternes gröſser als $\frac{5,123}{0,3136} = 16,33$ Halbmesser der Erdbahn; bis zu dieser Gröſse würde sie nämlich herabsinken, wenn sie senkreckt auf die Gesichtslinie vor sich ginge. Die Umlaufszeit des kleineren dieser beiden Sterne um den groſsen ist nahe 540 Jahre und die halbe groſse Axe der Bahn des kleinern beträgt 15 Secunden. Endlich wird noch die Summe der Massen der beiden Sterne dieses Paares von Bessel annähernd gleich 0,61 der Sonnenmasse gefunden. Künftige Beobachtungen dieses merkwürdigen Doppelsternes werden diese Resultate ohne Zweifel noch genauer bestimmen, aber immerhin können sie schon als sehr genähert und gleichsam als der erste gelungene Versuch betrachtet werden, unsere Blicke auch jenseits der Grenze des Sonnensystems auszudehnen und in jene Tiefen des Himmels zu erweitern, die bisher dem menschlichen Geiste ganz unzugänglich gewesen sind. Dieser Doppelstern ist der erste Stern des Himmels, dessen Entfernung von uns wir mit einiger Bestimmtheit angeben können, da die Grenze der Unsicherheit dieser Angabe noch nicht den zehnten Theil der ganzen Entfernung betrifft, denn nach dem Vorhergehenden muſs die Parallaxe dieses Doppelsternes zwischen 0″,33 und 0″,29, also die Entfernung desselben zwischen 625050 und 711260 Halbmesser der Erdbahn fallen.

D. Charakteristik unseres Sonnensystems.

Da unser Fixsternsystem, wie gesagt, aus mehrern einzelnen Sonnensystemen besteht, wo in jedem der letzteren mehrere Planeten und Kometen sich um ihre Sonne, als um ihren Centralkörper, bewegen, so wird man, diese Sonnensysteme unter einander zu unterscheiden, die *Charakteristik* derselben aufsuchen, deren Betrachtung hier um so weniger übergangen werden darf, da wir uns in dem Vorhergehenden schon öfter darauf bezogen haben.

Angenommen, daſs die Bewegungen um alle diese Sonnen nach dem Gesetze der allgemeinen Gravitation vor sich gehn, daſs nämlich jede dieser Sonnen die um sie umlaufenden Körper wie verkehrt das Quadrat ihrer Entfernungen an sich zieht, so werden sich die Flächen der von den Radien Vectoren dieser Körper um ihre Sonne beschriebenen Sectoren zu den Zeiten, in welchen sie beschrieben werden, wie die Quadratwurzeln aus den Parametern ihrer Bahnen verhalten. Ist also a die halbe groſse Axe der elliptischen Bahn eines solchen Körpers und $\frac{1}{2}$ f die in der Zeit t beschriebene Fläche, so wie p der halbe Parameter der Bahn, so hat man

$$\frac{f}{t} = \mu \cdot \sqrt{p},$$

wo μ eine constante Gröſse ist. Um diese Gröſse μ näher zu bestimmen, so hat man, wenn $\frac{1}{2}$ F die Fläche der ganzen Ellipse und T die Umlaufszeit des Körpers um seine Sonne bezeichnet, wie zuvor,

$$\frac{F}{T} = \mu \cdot \sqrt{p}.$$

Ist aber ae die Excentricität der Ellipse, so hat man

$$\tfrac{1}{2} F = a^2 \pi \sqrt{1 - e^2}$$

und

$$p = a(1 - e^2),$$

so daſs daher die vorhergehende Gleichung in die folgende übergeht:

$$\mu = \frac{2\pi \cdot a^{\frac{3}{2}}}{T},$$

wo π die bekannte Ludolph'sche Zahl 3,14159.. bezeichnet.

I. Kennt man also von einem dieser Körper für ein bestimmtes Sonnensystem die halbe grofse Axe a und die Umlaufszeit T, so ist damit auch der Werth dieser Constante μ gegeben. Für unser Sonnensystem hat man z. B., wenn man die Erde für jenen Körper nimmt, a = 1 und T = 365,256384 Tage, also ist auch

$$\mu = \frac{2\pi}{T} = 0{,}0172021.$$

Hätte man aber irgend einen andern Planeten unseres Sonnensystems, z. B. Mars, gewählt, so wäre a = 1,523693 und T = 686,979579, also auch

$$\mu = \frac{2\pi a^{\frac{3}{2}}}{T} = 0{,}0172021, \text{ wie zuvor,}$$

so dafs also für alle Planeten und Kometen, so wie überhaupt für alle um unsere Sonne sich bewegenden Körper diese Gröfse $\mu = 0{,}0172021$ immer denselben Werth behält, der, wie wir sogleich (in Nr. V) sehn werden, eigentlich von der Masse der Sonne abhängt und daher diesem unseren Sonnensysteme eigenthümlich ist, daher auch diese Gröfse μ die *Charakteristik* unseres Sonnensystems genannt wird.

II. Bemerken wir noch, dafs dieser Werth von μ zwar für alle Planeten und Kometen, die sich um unsere Sonne bewegen, gehört, nicht aber für die Satelliten dieser Planeten. Da nämlich diese Satelliten mit ihrem Hauptplaneten gleichsam ein abgesondertes System für sich bilden, so wird auch jedem solchen Satellitensysteme eine eigene Charakteristik gehören. Für unsern irdischen Mond oder für unser Mondsystem z. B. ist die mittlere Entfernung des Monds von dem Mittelpunct der Erde gleich 51830 geogr. Meilen, also auch

$$a = \frac{51830}{20666000} = 0{,}00250798 \text{ Halbmesser der Erdbahn.}$$

Da weiter die siderische Umlaufszeit des Mondes T = 27,321661 Tage ist, so hat man

$$\mu' = \frac{2\pi \,.\, a^{\frac{3}{2}}}{T} = 0{,}00002888$$

für die Charakteristik des Mondsystems unserer Erde. Ebenso hat man für das System der vier Jupitersmode, wenn man den letzten derselben nimmt,

$$a = \frac{258320}{20666000} = 0{,}0125 \text{ Halbmesser der Erdbahn}$$

und die siderische Umlaufszeit dieses Monds

$$T = 16{,}68902 \text{ Tage,}$$

also auch für die Charakteristik dieses Satellitensystems

$$\mu'' = \frac{2\pi . a^{\frac{3}{2}}}{T} = 0{,}000526.$$

Diese Gleichung für μ zeigt zugleich, daſs in jedem Systeme die Quadrate der Umlaufszeiten der um den Centralkörper sich bewegenden Gestirne sich verhalten, wie die Würfel der groſsen Axen ihrer Bahnen, wie dieses dem bekannten dritten Kepler'schen Gesetze gemäſs ist. Auch hat man, da T die Umlaufszeit bezeichnet, für die mittlere tägliche Bewegung dieser Körper den Ausdruck

$$\frac{2\pi}{T} \text{ oder } \frac{\mu}{a^{\frac{3}{2}}},$$

so daſs daher die mittlere Bewegung derselben in einem Zeitraume von t Tagen gleich $\frac{\mu}{a^{\frac{3}{2}}}.t$ seyn wird.

III. Setzt man in der Gleichung

$$T = \frac{2\pi . a^{\frac{3}{2}}}{0{,}0172021}$$

die Gröſse $a = 1$, so erhält man $T = 365{,}256$ Tage. Setzt man aber z. B. $a = \frac{1}{8}$, so erhält man $T' = 298{,}958$ Tage, also $T - T' = 66{,}298$ Tage und

$$\frac{T - T'}{T} = 0{,}1815,$$

das heiſst: wird die mittlere Distanz a der Erde von der Sonne um $\frac{1}{8}$ ihrer Gröſse vermindert, so wird das Jahr T der Erde dadurch um 0,1815 seiner gegenwärtigen Gröſse kleiner, oder es wird um 66,298 Tage, also nahe um zwei Monate, vermindert. Lassen wir aber die mittlere Distanz $a = 1$ unverändert und ändern wir dafür die Umlaufszeit T, so giebt die Gleichung

$$\mu = \frac{2\pi}{T}$$

für $T = 365{,}256$ den Werth $\mu = 0{,}017202$. Nimmt man da-

gegen die Umlaufszeit um ihren 12ten Theil, das heifst, nahe um einen Monat kleiner, so hat man $T' = 334{,}82$, und dieses giebt

$$\mu' = 0{,}018766,$$

also auch $\mu' - \mu = 0{,}001564$ und $\frac{\mu' - \mu}{\mu} = 0{,}0909$, das heifst: nimmt man bei derselben mittleren Distanz die Umlaufszeit der Erde um ihren 12ten Theil kleiner, als sie jetzt ist, so wird dadurch die Charakteristik μ des Sonnensystems (oder die Masse der Sonne) um ihren zehnten Theil gröfser.

IV. Kürzer und allgemeiner zugleich findet man diese und ähnliche Aufgaben, wenn man die vorhergehende Gleichung

$$\mu = \frac{2\pi . a^{\frac{3}{2}}}{T}$$

differentiirt. Thut man dieses zuerst in Beziehung auf T und a, so erhält man

$$\partial T = \frac{3T}{2a} . \partial a,$$

wo man, wie zuvor, für $a = 1$, $\partial a = \frac{1}{8}$ und $T = 365{,}256$ findet $\partial T = 66$ Tage.

Differentiirt man aber jene Gleichung in Beziehung auf T und μ, so hat man

$$\partial \mu = -\frac{\mu \partial T}{T},$$

und damit erhält man $\partial \mu = 0{,}00156$, wenn man $\partial T' = 30{,}43$ Tage setzt.

V. Nennt man m die Masse der Sonne, so sind die bekannten dynamischen Gleichungen für die Bewegung der Planeten um die Sonne[1]:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \frac{m x}{r^3} &= 0 \\ \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{m y}{r^3} &= 0 \\ \frac{d^2 z}{\partial t^2} + \frac{m z}{r^3} &= 0 \end{aligned}\right\} \ldots (A)$$

1 S. Art. *Mechanik.* Bd. VI. S. 1569.

wo r die Entfernung des Planeten von der Sonne, also $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$ ist, und wo t die Zeit bezeichnet. Da demnach die in der Entfernung r von der Sonne statt habende Anziehungskraft der Sonne gleich $\frac{m}{r^2}$ ist, so mufs bei der Bestimmung der eigentlichen Gröfse dieser Kraft und ihrer Wirkung auf eine Einheit nothwendig eine Zeiteinheit und eine Raumeinheit angenommen werden. Sey die Zeiteinheit der mittlere Sonnentag und die Raumeinheit die halbe grofse Axe der Erdbahn. Wenn also die Sonne auf einen ruhenden materiellen Punct, dessen Entfernung von der Sonne gleich 1 ist, während eines mittleren Tags fortwährend einwirkte, und zwar immer mit derselben Kraft (so dafs also die relative Entfernung der beiden Körper sich nicht änderte), so würde diese Sonne am Ende des mittleren Tags dem Puncte eine Geschwindigkeit ertheilt haben, welche ihn, wenn er jetzt ganz allein sich selbst überlassen bliebe, in der Zeiteinheit (d. h. während eines mittleren Tages) um die Länge m, nach der Längeneinheit gemessen, forttreiben würde. Es ist aber die mittlere tägliche Bewegung der Erde gleich 3548″,33 Raumsecunden oder, in Theilen des Halbmessers der Erdbahn ausgedrückt, gleich $3548{,}33 \text{ Sin. } 1'' = 0{,}017202$. Da aber diese letzte Gröfse oben gleich μ war, so ist auch $m = \mu^2$ oder $= 0{,}0002959$. Aus der blofsen Form jener Gleichungen (A) folgt, dafs m die *Masse der Sonne* bezeichnet, wenn von der Bewegung eines Planeten, und die *Masse des Hauptplaneten*, wenn von der Bewegung eines Satelliten um diesen Hauptplaneten die Rede ist. Wir haben aber oben für die Charakteristik

des Planetensystems	$\mu = 0{,}017202$
des Mondsystems der Erde	$\mu' = 0{,}00002888$
des Mondsystems des Jupiter	$\mu'' = 0{,}000526$

erhalten. Nimmt man des diesen Gröfsen die Verhältnisse in Beziehung auf die erste Gröfse μ, so erhält man

$$\mu = 1$$
$$\frac{\mu'}{\mu} = \frac{0{,}00002888}{0{,}017202} = 0{,}0016788,$$
$$\frac{\mu''}{\mu} = \frac{0{,}000526}{0{,}017202} = 0{,}030507.$$

Allein die Massen dieser drei Himmelskörper sind nach den neuesten Bestimmungen[1] für

Sonne ... 1

Erde .. $\frac{1}{354940} = 0{,}0000028174$,

Jupiter .. $\frac{1}{1054} = 0{,}0009488$.

Quadrirt man aber die vorhergehenden Werthe von $\frac{\mu'}{\mu}$ und $\frac{\mu''}{\mu}$, so erhält man

$$\left(\frac{\mu'}{\mu}\right)^2 = 0{,}000002819$$

und

$$\left(\frac{\mu''}{\mu}\right)^2 = 0{,}000931$$

sehr nahe, wie zuvor für die Massen, so dafs also die Gröfse $m = \mu^2$ für jedes System die Masse des Centralkörpers dieses Systems bezeichnet oder dafs die *Charakteristik* des Systems gleich der Quadratwurzel aus der Masse des Centralkörpers ist.

VI. Um den Werth dieser wichtigen Gröfse μ noch auf einem anderen einfacheren Wege zu finden, wollen wir bemerken, dafs der Bogen, welchen die Erde in ihrer mittleren Bewegung um die Sonne während einer Secunde beschreibt, gleich $\frac{2\pi}{T}$ ist, wenn T, die siderische Revolution der Erde, in Zeitsecunden ausgedrückt ist. Der Sinus versus dieses Bogens ist

$$a\left(1 - \text{Cos.}\,\frac{2\pi}{T}\right) = 2a\left(\text{Sin.}\,\tfrac{1}{2}\,.\,\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{2\pi^2 . a}{T^2},$$

und da der Sinus versus als die Abweichung der krummlinigen Bahn der Erde von ihrer Tangente während einer Zeitsecunde angesehn werden kann, so ist auch diese Gröfse $\frac{2\pi^2 . a}{T^2}$, in Theilen der halben grofsen Axe der Erdbahn ausgedrückt, diejenige Gröfse, um welche die Erde in ihrer jährlichen Bewegung, während einer Zeitsecunde, gegen die Sonne fällt, oder

1 S. Art. *Masse*. Bd. VI. S. 1393.

$\frac{2\pi^2.a}{T^2}$ ist die Anziehung der Sonne in der Entfernung a von ihrem Mittelpuncte.

Die Gröfse aber, um welche die Erde auf ihrer Oberfläche die Körper gegen ihren Mittelpunct zieht, ist gleich $\frac{1}{2}g = 15{,}107$ Par. Fufs, oder wenn der Halbmesser der Erde 19608666 Par. Fufs beträgt, $\frac{1}{2}g = \frac{15{,}107}{19608666} = 0{,}0000007704247$ Erdhalbmesser, und dieses ist zugleich die Anziehung der Erde in der Entfernung ihres Halbmessers, den wir hier für die Einheit der Entfernungen annehmen wollen, so dafs also auch die Gröfse

$$\frac{\frac{1}{2}g}{a^2}$$

die Anziehung der Erde in der Entfernung a bezeichnet, wo a der Halbmesser der Erdbahn in Erdhalbmessern ausgedrückt ist. Da aber, für dieselbe Entfernung, die Anziehung zweier Körper sich wie ihre Massen verhält, so hat man, wenn wieder m die Masse der Sonne, die der Erde als Einheit angenommen, bezeichnet,

$$m : 1 = \frac{2\pi^2 a}{T^2} : \frac{\frac{1}{2}g}{a^2}$$

oder es ist

$$m = \frac{4\pi^2 a^3}{g T^2}.$$

Um diesen Ausdruck zu berechnen, hat man für die siderische Revolution der Erde

$$T = (365{,}256384)\,(24)\,(60)^2 \text{ Secunden.}$$

Die halbe grofse Axe der Erdbahn, in Theilen des Erdhalbmessers ausgedrückt, ist $a = \frac{1}{\text{Sin. } 8'',6}$, wenn die Sonnenparallaxe gleich 8″,6 angenommen wird. Endlich ist nach dem Vorhergehenden $g = 0{,}000001540849$. Man hat daher

$$\begin{array}{rl} \text{Log.}\,4\pi^2 = & 1{,}5963598 \\ \text{Log.}\,a^3 = & 3{,}1397798 \\ \hline & 4{,}7361396 \\ \text{Log.}\,T^2 = & 4{,}9982230 \\ \hline & 9{,}7379166 \\ \text{Log.}\,g = & 4{,}1877617 \\ \hline \text{Log.}\,m = & 5{,}5501549 \\ m = & 354940 \end{array}$$

so dafs daher $m = \mu^2 = 354940$ die Masse der Sonne gegen die der Erde ausdrückt, was vollkommen mit der oben (Nr. V) angenommenen Sonnenmasse übereinstimmt.

VII. Da die Gleichungen (A) in Nr. V in diesem Werke schon öfter angeführt worden und da sie überhaupt durch das ganze Gebiet der Astronomie von der gröfsten Wichtigkeit sind, so wird es nicht unangemessen seyn, hier noch die Integration derselben auf die einfachste Weise zu geben.

Multiplicirt man die erste dieser drei Gleichungen durch y und die zweite durch — x, so giebt die Summe dieser Producte

$$0 = \frac{y\,\partial^2 x - x\,\partial^2 y}{\partial t^2},$$

wovon das Integral ist

$$y\,\partial x - x\,\partial y = C.\partial t,$$

wenn C irgend eine Constante bezeichnet. Behandelt man ebenso die zwei andern Paare dieser Gleichungen, so erhält man die drei folgenden Ausdrücke

$$\left.\begin{array}{l} y\,\partial x - x\,\partial y = C\,.\partial t \\ z\,\partial x - x\,\partial z = C'\,.\partial t \\ z\,\partial y - y\,\partial z = C''\,.\partial t \end{array}\right\}.$$

Multiplicirt man aber von diesen letzten drei Gleichungen die erste durch z, die zweite durch — y und die dritte durch x, so ist ihre Summe

$$0 = C''x - C'y + Cz,$$

und da diese Gleichung zeigt, dafs die gesuchte Bahn des Planeten in einer Ebene liegt, die durch den Mittelpunct der Sonne, als den Anfangspunct der Coordinaten, geht, so kann man diese Ebene der Bahn als die der coordinirten Ebene der

xy annehmen. Dadurch wird z und $\partial^2 z$ gleich Null, und die drei Gleichungen (A) sind den zwei folgenden gleichgeltend:

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \frac{m x}{r^3} = 0 \\ \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{m y}{r^3} = 0\end{aligned}\right\} \ldots \text{(B)}$$

Aus diesen beiden Gleichungen findet man sofort die beiden folgenden ersten Integrale:

$$\frac{\partial x^2 + \partial y^2}{\partial t^2} - \frac{2m}{r} + \frac{m}{a} = 0$$

$$x \partial y - y \partial x = \partial t . \sqrt{m p},$$

wo a und p die Constanten der Integration bezeichnen. Setzt man aber $x = r \,\text{Cos.}\, v$ und $y = r \,\text{Sin.}\, v$, so gehn die beiden letzten Gleichungen in folgende über:

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial r^2 + r^2 \partial v^2}{\partial t^2} - \frac{2m}{r} + \frac{m}{a} = 0 \\ r^2 \partial v = \partial t . \sqrt{m p}\end{aligned}\right\} \ldots \text{(C)}$$

Eliminirt man aus ihnen die Gröſse ∂t und setzt man der Kürze wegen $r = \frac{1}{z}$, so hat man

$$\partial r = \frac{p \partial z}{\sqrt{1 - \frac{p}{a} - (1 - p z)^2}},$$

wovon das Integral ist

$$p z = 1 + \sqrt{1 - \frac{p}{a}} . \text{Cos.}\, v,$$

vorausgesetzt, daſs $r = p$ für $v = 90°$ ist. Stellt man den Werth von $z = \frac{1}{r}$ wieder her und setzt $1 - \frac{p}{a} = e^2$, so hat man

$$r = \frac{p}{1 + e \,\text{Cos.}\, v} = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \,\text{Cos.}\, v}$$

für die gesuchte Gleichung der Bahn, die also ein Kegelschnitt ist und zwar eine Ellipse, Hyperbel oder Parabel, jenachdem

a positiv, negativ oder unendlich, oder auch jenachdem e kleiner, größser, oder ebenso groß als die Einheit ist.

Eliminirt man ∂v aus den beiden Gleichungen (C), so ist

$$\partial v = \frac{r \partial r . \sqrt{\frac{a}{m}}}{\sqrt{a^2 e^2 - (a-r)^2}} .$$

Diesen Ausdruck einfacher zu machen, sey

$$r = a(1 - e \operatorname{Cos.} u),$$

so hat man

$$\partial t . \sqrt{\frac{m}{a}} = (1 - e \operatorname{Cos.} u) . \partial u ,$$

wovon das Integral ist:

$$t . \sqrt{\frac{m}{a^3}} = u - e \operatorname{Sin.} u ,$$

wenn u mit t zugleich verschwindet. Die letzte Gleichung giebt u für jede Zeit t, und wenn so u bekannt ist, so hat man r und v durch die Gleichungen

$$r = a(1 - e \operatorname{Cos.} u),$$

$$\operatorname{Cos.} v = \frac{a(1 - e^2) - r}{e r} .$$

Zur Prüfung der Rechnung hat man auch noch die Gleichung

$$\operatorname{Tang.} \tfrac{1}{2} v = \operatorname{Tang.} \tfrac{1}{2} u . \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} .$$

Dieses sind dieselben Ausdrücke, deren wir schon öfter oben[1] Erwähnung gethan haben.

VIII. Dabei ist, wie gesagt, auf die Neigung der Ebene der Bahn keine Rücksicht genommen worden, indem man, was nach dem Vorhergehenden immer erlaubt ist, die Gröſse $z = 0$ gesetzt hat. Nimmt man aber in den Gleichungen (A) der Nr. V die Axe der x in der Linie der Nachtgleichen und die coordinirte Ebene der xy in der Ebene der Ekliptik, also z senkrecht auf die Ekliptik an, so müssen die Integrale der drei Gleichungen (A) eigentlich sechs endliche Gleichungen

---

1 S. Art. *Mechanik*. Bd. VI. S. 1569 oder *Mittlerer Planet*. Bd. VI. S. 2313.

mit ebenso vielen Constanten geben. Nennt man n und k die Neigung und die Länge des Knotens der Bahn in der Ekliptik, ω die Länge des Perihels weniger der Länge des Knotens, und behält man die vorigen Bezeichnungen von a, e, u, r, v und $\mu = \sqrt{m}$ bei und setzt überdiefs A gleich der Epoche der mittleren Anomalie für den Anfang der Zeit t oder für t = Null, so sind die sechs erwähnten Integrale, wie man leicht sieht, wenn man die in (VII) erhaltenen Gleichungen mit den zwei letzten verbindet, die oben[1] angeführt worden sind, wie folgt:

$$\left.\begin{array}{l}
\frac{\mu t}{a^{\frac{3}{2}}} + A = u - e\,\text{Sin.}\,u \\
\text{Tang.}\,\tfrac{1}{2}v = \text{Tang.}\,\tfrac{1}{2}u \,.\, \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \\
r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\,\text{Cos.}\,v} \\
x = r\,\text{Cos.}(v+\omega)\,\text{Cos.}\,k - r\,\text{Sin.}(v+\omega)\,\text{Cos.}\,n\,\text{Sin.}\,k \\
y = r\,\text{Cos.}(v+\omega)\,\text{Sin.}\,k + r\,\text{Sin.}(v+\omega)\,\text{Cos.}\,n\,\text{Cos.}\,k \\
z = r\,\text{Sin.}(v+\omega)\,\text{Sin.}\,n
\end{array}\right\} \quad \ldots \quad (D)$$

Ohne die Integrationen der drei Gleichungen (A) hier umständlich anzuführen[2], wird es genügen, durch die Differentiation der Gleichungen (D) uns von der Richtigkeit jener Integrationen zu überzeugen. Bemerken wir noch, dafs diese Integrationen sechs Constanten einführen, die hier als die sechs Elemente der Bahn erscheinen, nämlich

a oder die halbe grofse Axe der Bahn,
ae oder die Excentricität der Bahn,
ω oder die Distanz des Perihels vom Knoten,
A oder die Epoche der mittleren Anomalie,
k oder die Länge des aufsteigenden Knotens,
n oder die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik.

Setzt man nun, die angezeigten Differentiationen auszuführen,

---

1 S. Art. *Tabellen*. Bd. IX. S. 21.

2 Vergl. Littrow's theor. und prakt. Astronomie. Wien 1821. Th. II. S. 29.

$p = a(1 - e^2)$, so sind die Differentiale der drei ersten der Gleichungen (D)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\mu}{a^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{a}{r}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\mu \sqrt{p}}{r^2}$$

$$\frac{\partial r}{\partial t} = \frac{\mu \cdot e}{\sqrt{p}} \text{Sin.}\, v$$

und damit erhält man sofort auch die Differentiale der drei letzten der Gleichungen (D), wie folgt:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{\mu}{\sqrt{p}} (\text{Sin.}(v + \omega) + e\,\text{Sin.}\,\omega)\,\text{Cos.}\,k$$

$$-\frac{\mu}{\sqrt{p}} (\text{Cos.}(v + \omega) + e\,\text{Cos.}\,\omega)\,\text{Sin.}\,k\,\text{Cos.}\,n;$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} = -\frac{\mu}{\sqrt{p}} (\text{Sin.}(v + \omega) + e\,\text{Sin.}\,\omega)\,\text{Sin.}\,k$$

$$+\frac{\mu}{\sqrt{p}} (\text{Cos.}(v + \omega) + e\,\text{Cos.}\,\omega)\,\text{Cos.}\,k\,\text{Cos.}\,n;$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = +\frac{\mu}{\sqrt{p}} (\text{Cos.}(v + \omega) + e\,\text{Sin.}\,\omega)\,\text{Sin.}\,n,$$

und wenn man endlich diese drei letzten Ausdrücke noch einmal differentiirt und den vorigen Werth von

$$\partial v = \frac{\mu}{r^2} \partial t . \sqrt{p}$$

substituirt, so erhält man

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -\frac{\mu}{\sqrt{p}} \cdot \frac{x}{r} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} \text{ oder } \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -\frac{\mu^2 x}{r^3}$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\frac{\mu}{\sqrt{p}} \cdot \frac{y}{r} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} \quad \cdot\cdot \quad \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\frac{\mu^2 y}{r^3}$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = -\frac{\mu}{\sqrt{p}} \cdot \frac{z}{r} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} \quad \cdot\cdot \quad \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = -\frac{\mu^2 z}{r^3}$$

und dieses sind dieselben Gleichungen (A), von welchen wir

oben ausgegangen sind, so dafs demnach die sechs angeführten Integrationen (D) ihre volle Richtigkeit haben.

E. Verschiedenheit der Himmelskörper.

In unserm Sonnensysteme bemerken wir, mit der einzigen Ausnahme des Saturnsrings, an der Sonne, den Planeten und ihren Satelliten durchaus nur Kugelgestalten. Die Kometen aber, die durch ihre grofse Anzahl die eigentliche Bevölkerung dieses Sonnenstaates bilden, weichen beinahe alle von dieser Form ab und nehmen, oft selbst einer und derselbe bei verschiedenen Erscheinungen, die mannigfaltigsten Gestalten an. Allein darin kommen alle diese Himmelskörper überein, dafs sie sich sämmtlich um einen ihnen allen gemeinschaftlichen Centralkörper, und zwar nach einem und demselben Gesetze, bewegen. So weit wir die Natur und den unerschöpflichen Reichthum ihres Bildungstriebes kennen, wird es uns erlaubt seyn, andere Formen und Einrichtungen, als die in dieser näheren Umgebung bemerkten, jenseit der Grenzen unseres Sonnensystems in den unendlichen Räumen des Weltalls zu vermuthen, und diese Vermuthungen sind auch durch die Kraft unserer Fernröhre bereits bestätigt worden.

Hierher gehören zuerst die *Nebelflecke* und *Sternhaufen* mit ihren mannigfaltigen Gestalten. Mehreres über die Formen derselben ist bereits oben[1] gesagt worden, daher wir hier nur die noch übrigen nothwendigen Bemerkungen nachzutragen haben[2].

---

1 S. Art. *Nebelflecke*. Bd. VII. S. 53.

2 Die ältesten Verzeichnisse derselben, die des älteren Herschel, sind in den Philos. Transact. für die Jahre 1786, 1789 und 1802 enthalten. Aus ihnen hat Bode in seinen Berl. Jahrbüchern für 1791 und 1794, so wie J. W. Pfaff in seinem Werke: Schriften Herschel's, Dresden 1826, Uebersetzungen, Auszüge und Kataloge geliefert. Der jüngere Herschel hat erst in den letzten Jahren die meisten dieser Gegenstände revidirt und nach seinen eigenen Beobachtungen ein Verzeichnifs von 2396 Nebeln nnd Sterngruppen in den Phil. Transact. für 1833 mitgetheilt. Ein anderes, älteres, immer noch schätzbares Verzeichnifs ist das von Messier in der Conn. des temps für 1783 und 1784 und in den Mém. de l'Acad. de Paris 1771. Ein neues, umfassendes Verzeichnifs dieser Gegenstände hat der jüngere Herschel zu-

Wenn man die hiervon verfafsten Kataloge näher betrachtet, so bemerkt man, dafs einige weitverbreitete Gegenden des Himmels besonders reich an diesen Gegenständen sind. Gewöhnlich trifft man sie in ganzen grofsen Lagern neben einander geschichtet, und man kann selbst sagen, dafs die meisten derselben eine Art Zone bilden, die in der Gestalt eines gröfsten Kreises, fast wie unsere Milchstrafse, über den ganzen Himmel zieht. Diese Nebelzone durchschneidet die Milchstrafse beinahe unter rechten Winkeln und geht auch in der Nähe der beiden Nachtgleichenpuncte durch die Ekliptik. Besonders häufig findet man sie in dieser Zone bei den Sternbildern der Jungfrau, des grofsen Bären und des Haupthaars der Berenice. Viele von diesen merkwürdigen Gegenständen des Himmels lassen sich durch unsere Fernröhre in die einzelnen Sterne, aus welchen sie daher bestehn, auflösen, und diese sind daher die eigentlichen *Sternhaufen* oder *Sterngruppen*. Bei andern aber gelingt dieses, auch für unsere besten Fernröhre, nicht, und wir halten sie daher für blofse Lichtanhäufungen, für lichte Massen, und bezeichnen sie durch den Namen der *Nebel* oder *Nebelflecke*. Doch kann es auch seyn, dafs viele der letzten doch nur Sterngruppen, gleich jenen ersten, sind, die aber entweder zu weit von uns entfernt sind oder in welchen die einzelnen Sterne zu gedrängt stehn, als dafs sie auch unser bestbewaffnetes Auge noch unterscheiden könnte.

Was nun zuerst die von uns als solche erkannten *Sterngruppen* betrifft, so erkennt man mehrere derselben schon mit freien Augen. Hierher gehört die bekannte Gruppe in dem Haupthaar der Berenice Rectascension A = 177° 30′, Declination D = 26° 0′; die sogenannte *Krippe* im Krebs A = 127° 15′, D = 20° 30′; der Sternhaufen im Schwertgriff des Perseus A = 31° 30′, D = 56° 22′ und die (unter dem Namen der *Gluckhenne* bekannten) Pleiaden am Hals des Stiers A = 54° 45′, D = 23° 30′.

Viel gröfser ist aber die Anzahl der bisher bekannten *teleskopischen Sterngruppen*. Bei weitem die meisten derselben zeichnen sich durch eine oft ganz genau kugelförmige Gestalt aus, und die Sterne, aus welchen sie zusammengesetzt sind,

---

gesagt, der durch seine lichtstarken Spiegelteleskope vor allen geeignet ist, Beobachtungen dieser Art zu sammeln.

erscheinen beinahe durchaus von gleicher Gröſse, nur zuweilen findet man einen oder einige etwas gröſsere Sterne, aber dann immer nur in der Mitte der Gruppe. Die Anzahl der Sterne, aus welchen sie bestehn, ist oft auſserordentlich groſs, so daſs an ein eigentliches Zählen derselben nicht weiter zu denken ist. Nach dem älteren Herschel findet man oft zehn und mehr tausend Sterne auf einen Raum des Himmels zusammengedrängt, der kaum den vierten Theil der Oberfläche des Vollmonds beträgt. Gegen die Mitte nehmen besonders jene kreisrunden Gruppen immer an Helle auffallend zu, und dieses ist nicht bloſs eine optische Täuschung, sondern rührt, wie die Fernröhre zeigen, von einem wahren Näherrücken der einzelnen Sterne gegen die Mitte der Gruppe her. Welches auch die Wesenheit dieser wunderbaren Himmelskörper seyn mag, ihre Kugelform, die auffallende Symmetrie ihres innern Baues und die scharfe Begrenzung derselben zeugt von Einheit des Zwecks und von einer bestimmten, in sich selbst abgeschlossenen Natur dieser Aggregate von Sonnen, die durch die Kraft ihrer gegenseitigen Attractionen durchdrungen und von einem eigenen, gemeinsamen Bande des Zusammenhangs umschlungen zu seyn scheinen.

Um den Lesern eine Ansicht dieser Gruppen zu geben, theilen wir hier folgende Abbildungen mit:

Nr. 1 die *Pleiaden* am Halse des Stiers. Diese Gruppe besteht auf dem Raum eines Kreises von einem Grad im Halbmesser aus einem Stern der IV., aus sechs der V., aus fünf der VI., und aus zweiunddreiſsig Sternen der VIIten Gröſse, nebst vielen anderen noch kleineren. Fig. 123.

Nr. 2 ist eine andere, schon mit freiem Auge erkennbare, sternreiche Gegend im Stier, wo die Sterne β und ζ in den Spitzen der beiden Hörner des Stiers stehen. Fig. 124.

Nr. 3 die erwähnte Gruppe im Nacken des Krebses. Fig. 125.

Nr. 4 das Regengestirn oder die *Hyaden* auf der Stirn des Stiers. Fig. 126.

Nr. 5 eine sehr sternreiche Gegend bei dem Stern Wega in der Leier, der sogenannten *Lucida Lyrae*. Fig. 127.

Nr. 6 die Umgegend des groſsen wunderbaren Nebels im Orion, von dem wir weiter unten reden werden. Fig. 128.

Von den genannten Gruppen kann man die gröſsern Sterne

wenigstens mit freien Augen oder doch mit sehr mittelmäſsigen Fernröhren sehn. Die beiden folgenden bedürfen schon bessere Teleskope.

Fig. 129. Nr. 7 ist eine schöne, an ihren äuſsersten Grenzen ziemlich abgerundete, in ihrem mittleren helleren Theile aber sehr nahe kreisförmige Gruppe, deren Beleuchtung gegen die Mitte hin schnell zunimmt und um deren Mittelpunct die sehr dicht gedrängten Sterne nicht mehr von einander getrennt werden können. Der Durchmesser des Ganzen beträgt 2,5 Minuten und der hellste Theil ist nahe das Drittel des Ganzen. Diese Gruppe steht im Sternbilde der Waage unter A = 227° 30′ und D = 2° 44′.

Fig. 130. Nr. 8 ist eine schöne, kreisrunde und durch gute Fernröhre bis in die Nähe des Centrums auflösbare Gruppe. Gegen die Mitte ist sie sehr hell und gleichsam flammend, obschon hier die Sterne nicht dichter stehn, als gegen den Rand. Der Anblick dieser Sterngruppe gleicht, nach Herschel's Ausdruck, dem eines Haufens Goldsand. Der mittlere, hellste Theil des Ganzen beträgt sechs Secunden im Durchmesser. Sie steht im Sternbilde des Wassermanns unter A = 321° 15′ und D = 1° 34′ südl.

Es mögen hier noch einige andere der vorzüglichsten, meistens schon mit mäſsigen Fernröhren gut erkennbaren Sterngruppen folgen.

A = 196° 0′, D = 19° 4′ zwischen Bootes und der Berenice; schön rund, in der Mitte stark gedrängt und sehr hell, am Rande etwas ausgezackt. Durchmesser nahe 5 Minuten.

A = 203° 30′, D = 29° 14′ in den Hinterfüſsen des südlichen Jagdhundes. Schöne runde Gruppe von 6 Min. Durchmesser, die wenigstens tausend Sterne der XIten Gröſse und darunter enthält. Aus dem hellen Mittelpuncte scheinen gleichsam Lichtstrahlen auszutreten.

A = 209° 30′, D = 29° 20′ im Bootes, groſs und reich an Sternen, 10 Min. Durchmesser. Die Sterne sind von der XIIten bis XVIIIten Gröſse und die Gruppe hat keinen eigentlichen Lichtkern. Ihre Mitte, wo die Sterne ungemein gedrängt stehn, ist selbst für starke Fernröhre unauflösbar.

A = 248° 45′, D = 36° 48′ zwischen ζ und η im Herkules, eine

reiche Gruppe von unregelmäſsiger Gestalt, der obigen Fig. 129 sehr ähnlich. Die Sterne der Xten bis XVten Gröſse stehn sehr dicht. Durchmesser des ganzen Bildes 8 Minuten.

A = 266° 45′, D = 18° 58′ südlich, im Ophiuchus. Eine groſse Gruppe von 60 bis 80 Sternen, die gröſstentheils in regelmäſsigen krummen Linien liegen.

A = 276° 30′, D = 24° 1′ südlich, im Schützen. Eine schöne kugelförmige Gruppe, allmälig heller gegen die Mitte, aber ohne eigentlichen Kern. Die Sterne derselben sind der XIIten bis XXten Gröſse und scheinen durchaus gleich vertheilt zu seyn. Die Grenze des Ganzen ist verwaschen.

A = 280° 45′, D = 6° 28′ südlich im Sobieski'schen Schild, eine schöne, aber unregelmäſsige Gruppe von nahe 12 Min. Durchmesser. Die Sterne sind beinahe alle der XIIten Gröſse, mit einem helleren der IXten Gröſse in der Mitte. Das ganze Bild scheint in 5 oder 6 Gruppen gesondert zu seyn.

A = 287° 30′, D = 29° 53′ zwischen Schwan und Leier. Eine schöne gedrängte Gruppe, die nahe die Gestalt eines Dreiecks hat. Gröſster Durchmesser 3 Min.

A = 320° 30′, D = 21° 26′, zwischen Pegasus und Delphin, groſs, hell, unregelmäſsig abgerundet, in der Mitte gleichsam eine wulstige Erhöhung, aus der Lichtstreifen gegen die Peripherie zu gehn scheinen.

A = 357° 0′, D = 55° 46′ in der Cassiopeia, eine schöne, groſse, runde Gruppe von 15 Min. Durchmesser, reich an dicht gedrängten Sternen der Xten bis XVIIIten Gröſse.

Mehrere Sterngruppen haben einen gröſseren, gewöhnlich ausgezeichnet gefärbten Stern in ihrer Mitte. Dahin gehören

A = 32° 30′, D = 56° 22′ im Perseus mit einem rothen Stern in der Mitte.

A = 77° 0′, D = 39° 9′ im Fuhrmann mit einem orangefarbenen Stern.

A = 321° 15′, D = 50° 50′ im Schwan, mit einem röthlichen Stern.

A = 324° 30′, D = 52° 55′ im Schwan. Ein sehr merkwürdiger Gegenstand, nämlich ein ovaler Ring, der von sehr vielen, kleinen und dicht gedrängten Sternen gebildet wird.

In der Mitte dieses Ringes steht ein Stern IXter Gröſse von rother Farbe.

Die folgenden Gruppen haben einen Doppelstern in ihrer Mitte:

A = 37° 45′, D = 42° 3′ im Perseus,
A = 74° 15′, D = 37° 9′ im Fuhrmann,
A = 100° 45′, D = 0° 39′ im Einhorn,
A = 299° 45′, D = 35° 18′ im Schwan,
A = 357° 0′, D = 60° 15′ im Cepheus u. s. f.

Nebst den oben erwähnten dreieckigen Gruppen sieht man auch eine viereckige in A = 290° 45′, D = 19° 55′ im Fuchs, die 3 Min. lang und 2 Min. breit ist. In A = 346° 0, D = 59° 39′ endlich sieht man eine andere helle Gruppe, die aus zwei geraden nahe parallelen Linien von dicht an einander gestellten Sternen besteht, zwischen welchen mehrere andere kleinere ausgestreut sind.

Wir gehen nun zu der zweiten Gattung dieser Körper, zu den eigentlichen *Nebelmassen* des Himmels, über. Zu dem, was bereits oben[1] über diesen noch sehr wenig bekannten Gegenstand gesagt worden ist, setzen wir zuerst die in der That ungeheuere Ausdehnung hinzu, welche manche, ganz mit einer feinen, lichten Nebelmasse bedeckte Gegenden des Himmels haben. Herschel fand solche Nebelflecke, deren Oberfläche bis acht Quadratgrade am Himmel umfaſst. Nimmt man die Entfernung einer solchen Lichtwolke auch nur gleich einer Sternweite (oder gleich vier Billionen geogr. Meilen) an, so muſs der wahre Durchmesser dieser Wolke schon gegen 200000 Millionen Meilen betragen, also 500mal gröſser seyn, als der Umfang der ganzen Uranusbahn, deren Durchmesser 840 Mill. Meilen beträgt. Allein diese groſsen, weitverbreiteten Nebel sind meistens sehr schwach und düster, nur durch die stärksten Teleskope zu erkennen, in allen ihren Theilen nahe gleich stark gefärbt und in ihren Grenzen endlich sehr verwaschen. Die meisten anderen Nebel haben einen oder auch mehrere hellere Theile und sind gewöhnlich viel kleiner, als jene ersten. Meistens ist dieser hellere Theil kreisrund, besonders wenn er zugleich sehr licht ist. Diese *Kernnebel*, wie man

---

1 S. Art. *Nebelflecke*. Bd. VII. S. 53.

sie nennen könnte, trifft man selten allein, sondern gewöhnlich in ganzen Gruppen am Himmel an, gleichsam als ob sie aus den weitverbreiteten Nebeln der ersten Art durch Zerreifsung oder durch theilweise Verdichtung des ersten Nebelstoffes entstanden wären. Solche Lager von kleineren Nebeln sieht man in der Berenice, im grofsen Bären, in der Andromeda u. s. w.

Die meisten dieser isolirten Nebel sind kreisrund oder elliptisch gestaltet, und ihr Licht nimmt gewöhnlich gegen die Mitte schnell an Lebhaftigkeit zu. Solche kreisförmige Nebel sind z. B.:

A = 19° 0′, D = 8° 39′ in den Fischen, Durchmesser 1 Min.;

A = 167° 30′, D = 13° 0′ im grofsen Löwen, mit einem runden lichten Kern;

A = 175° 45′, D = 45° 4′ scharf begrenzt und licht, mit einem Durchmesser von 3 Min.;

A = 257° 15′, D = 18° 20′ südl. von 4 Min. Durchmesser, im Schlangenträger;

A = 271° 0′, D = 6° 49′ eine schöne, helle, scharf begrenzte Scheibe von 8 Min. Durchmesser im Schlangenträger, schon im Zwielichte durch bessere Fernrohre sichtbar.

Die folgenden sind elliptisch geformt:

A = 81° 0′, D = 21° 53′ im Stier, 4 Min. lang und 3 Min. breit;

A = 127° 45′, D = 50° 49′ im grofsen Bären, 30 Sec. lang und 20 Sec. breit, in der Mitte sehr hell;

A = 145° 15′, D = 69° 52′ im grofsen Bären, gegen die Mitte sehr hell, und mit 3 bis 4 Min. langen Strahlen, die aus dem Centrum des Nebels ausgehn;

A = 337° 15′, D = 33° 31′ im Pegasus, 90 Sec. lang und 30 Sec. breit, gegen die Mitte heller.

Oft sieht man auch *Doppelnebel* oder zwei einander nicht selten bis zur Berührung oder Ineinanderfliefsung nahe stehende Nebel, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist. Solche sind: Fig. 131. u. 132.

A = 108° 45′, D = 29° 49′ in den Zwillingen, zwei sich berührende runde Nebel, die beide beinahe sternartig glänzen;

A = 178° 15′, D = 17° 55′ südlich, im Becher, zwei in einander fliefsende Nebel, beide in der Mitte heller;

A = 187° 0′, D = 12° 8′ in der Berenice, ein sehr schöner Doppelnebel. Beide sind rund und hell. Ihre Durchmesser betragen 45 und 60 Sec.

Hierher gehören auch die sogenannten *planetarischen Nebel*, kreisrund, scharf begrenzt und durchaus in allen ihren Theilen von demselben Lichte beleuchtet, so dafs sie also nicht, wie die vorhergehenden, gegen die Mitte an Helligkeit zunehmen. Die Oberfläche derselben scheint mit einem leichtschuppigen, flockigen Lichte überzogen. Wenn sie, wie sich kaum bezweifeln läfst, selbstleuchtende Körper sind, so mufs der Glanz ihres Lichtes weit unter dem unserer Sonne stehn. Vielleicht ist ihr Licht von einer ganz andern Art, etwa nur phosphorescirend; vielleicht bestehn sie selbst nur aus hohlen, durchsichtigen, mit Gasarten gefüllten Kugelschalen; vielleicht ziehn sie endlich durch ihre ungeheure Masse ihr eigenes Licht mit einer solchen Kraft an sich, dafs dasselbe nicht mehr frei und ungehindert ausströmen kann, wie sie denn, selbst wenn sie auch nur eine Sternweite (4 Bill. Meilen) von uns entfernt wären, schon die Bahn des Uranus an Umfang übertreffen würden. Die Gestalt eines solchen planetarischen Nebels versinn-
Fig. 133. licht die Zeichnung. Einige der vorzüglichsten sind:

A = 113° 30′, D = 14° 20′ südlich im Einhorn, 20 Sec. im Durchmesser, mit einem feinen Sternchen im Mittelpuncte;

A = 224° 45′, D = 19° 6′ ein planetarischer Nebel im Bootes von ganz ungewöhnlicher Gröfse. Sein Diameter hat volle sechs Minuten. Das ganze Bild scheint mit schwachem, sternartigem Lichte zu scintilliren, und der kugelförmige Nebel selbst ist in einiger Entfernung von seinem Rande von einem concentrischen feinen Nebelring umgeben;

A = 271° 0′, D = 6° 49′ sehr grofs und scharf begrenzt, über 8 Min. im Durchmesser, mit einem gleichförmigen, weifslichen Lichte überzogen, im Sternbilde des Ophiuchus;

A = 302° 15′, D = 30° 2′ im Schwan, einer der gröfsten planetarischen Nebel, von 15 Min. Durchmesser; da er in der Mitte etwas dunkler scheint, so ist er vielleicht ein ringförmiger Körper;

A = 313° 45′, D = 12° 2′ südlich im Wassermann; Durchmesser 5 Minuten.

Eine eigene Classe dieser räthselhaften Himmelskörper wird von den sogenannten *Sternnebeln* gebildet, nämlich von eigentlichen Fixsternen, die aber von Nebeln auf eine Art umgeben sind, dafs beide sehr wahrscheinlich zusammen gehören. Sie sind vielleicht in ihrer Ausbildung schon weiter vorgerückte *Kernnebel*, in welchen sich die früher noch matte und weitverbreitete Lichtmasse der Mitte zu einem concentrirten Lichtpuncte, zu einem eigentlichen Fixsterne aufgehellt hat.

A = 109° 45′, D = 21° 15′ in den Zwillingen. Ein Stern der VIIIten Gröfse, genau in der Mitte eines kreisrunden lichten Nebels von 25 Sec. Diameter. Ein ähnlicher ist A = 184° 0′, D = 5° 53′ in der Jungfrau, dessen heller Nebel schon im Zwielichte sichtbar ist. Fig. 134.

A = 109° 30′, D = 26° 26′ in den Zwillingen; ein Stern mit einer grofsen, unregelmäfsig ovalen Atmosphäre. Fig. 135.

A = 167° 45′, D = 14° 32′ im grofsen Löwen. Ein Stern in der Mitte eines elliptischen, an seinem Ende sehr zugespitzten Nebels. Fig. 136.

A = 97° 30′, D = 8° 53′ im Einhorn, ein Stern der XIIten Gröfse, mit einem lichten Nebelschweif von 1 Minute Länge, dem eines Kometen ähnlich. Fig. 137.

Oft sieht man auch zwei und mehr solche Sterne in eine offenbar zu ihnen gehörende Nebelmasse eingehüllt, die z. B. in den beiden Brennpuncten oder in den beiden Scheitelpuncten eines elliptischen Nebels stehen, wie die Zeichnung sie darstellt.

Einer der letzten ist z. B. in A = 192° 45′, D = 35° 47′ in den Jagdhunden, wo die beiden Sterne von der Xten Gröfse sind. Fig. 138.

Ebenso sieht man einen Stern der XIten Gröfse mit einem lichten, fächerartig ausgebreiteten Nebel, unter A = 131° 45′, D = 54° 25′ im grofsen Bären. Fig. 139.

Weiter ist in A = 181° 45′, D = 14° 6′ im grofsen Löwen ein sehr heller spindelartiger Nebel, in dessen Mitte ein feiner Fixstern steht. Fig. 140. In A = 187° 0′, D = 26° 56′ in der Berenice sieht man zwei solche spindelartige parallel stehende Nebel. Fig. 141.

Merkwürdiger noch ist der Nebel in A = 268° 0′, D = 23° 1′ südlich, im Schützen, der gabelförmig dreigespalten erscheint, Fig. 142.

und in dessen dreiarmigem dunklem Zwischenraum ein Doppelstern steht.

Fig. 143. In A = 33° 0′, D = 41° 34′ im Perseus sieht man einen feinen, sehr excentrisch elliptischen Nebel von 4 Min. Länge und 40 Sec. Breite. In der Mitte desselben ist eine concentrische, ebenfalls elliptische, dunkle Stelle, an deren zwei äufsersten Endpuncten zwei feine Sternchen stehen. Wahrscheinlich ist diese dunkle Stelle eine Oeffnung des Nebelrings, der sehr schief gegen unsere Gesichtslinie liegt.

Fig. 144. Einen ähnlichen Ringnebel findet man in A = 281° 45′, D = 32° 49′ in der Leier. Der äufsere Durchmesser des Ringes beträgt 6,5 Sec., aber die innere Oeffnung ist nicht ganz so dunkel, wie der äufsere Hintergrund des Himmels, sondern selbst wieder von einem andern aschgrauen Nebel erfüllt. Das Ganze hat das Ansehen eines über einen kreisförmigen Reifen gespannten Schleiers. Er steht zwischen β und γ der Leier.

Fig. 145. In A = 8° 15′, D = 40° 20′ steht der allgemein bekannte grofse Nebel der Andromeda, den man schon mit freien Augen bemerken kann. Er wurde zuerst von Simon Marius im J. 1612 gesehn. Seine Gestalt ist die eines Doppelkegels, indem die beiden Kegel mit ihren Grundflächen auf einander stehen. Der gröfste Durchmesser des ganzen Bildes beträgt dreifsig Minuten. Sein eigenthümliches, matt dämmerndes Licht verglich schon Marius mit dem einer Kerze, die durch ein dünnes Hornblatt scheint. Dieses Licht nimmt gegen den Mittelpunct, anfangs langsam, später aber schnell zu, doch ist es auch in dem Mittelpuncte selbst noch nicht sternig, wie es denn auch, gleich so vielen andern Nebeln, noch von keinem Teleskope in Sterne aufgelöst worden ist. Zwar sieht man in ihm und um ihn mehrere zerstreute kleine Fixsterne, aber diese scheinen nicht zu ihm zu gehören und nur für uns nahe auf derselben Gesichtslinie zu stehn.

Fig. 146. A = 200° 30′, D = 48° 5′ im grofsen Bären ist ein runder lichter Kern, der in einiger Entfernung von seinem Rande mit einem concentrischen Nebelringe umgeben ist. Dieser Ring selbst ist an einer Seite doppelt oder gespalten. Eine weitere Vervollkommnung der Fernröhre wird uns die wahre Gestalt dieses und des nächstfolgenden merkwürdigen Nebels vielleicht näher kennen lehren.

Fig. 147. In A = 298° 0′, D = 22° 17′ im Sternbilde des Fuchses ist ein

grofser eiförmiger Nebel, dessen grofse und kleine Axe sich nahe wie 4 zu 3 verhalten. Wenn man aus den beiden Brennpuncten dieser Ellipse, als aus Mittelpuncten, Kreise zieht, deren Durchmesser gleich einem Drittheile der grofsen Axe sind, so sind die Oberflächen dieser beiden Kreise in jenem Nebel mit einem andern viel helleren und durchaus gleichförmig beleuchteten Nebel ausgefüllt, während die übrigen Theile des ganzen Bildes nur in einem sehr schwachen Lichte dämmern.

Endlich verdient hier noch erwähnt zu werden der grofse merkwürdige Nebel im Orion, unter $A = 81° 45'$, $D = 5° 30'$ südlich in der Nähe von Θ Orion, unter der Mitte des sogenannten Jakobsstabes. Diesen Nebel beschrieb zuerst Huyghens im J. 1659, spätere Zeichnungen sind von Derham, Godin, Mairan, Legentil und Messier, und die hier mitgetheilte ist vom jüngeren Herschel. Dieser Nebel ist durch die Schönheit seines Anblicks, durch die Eigenthümlichkeit seiner Gestalt, durch die sonderbare Abwechselung des auf ihm vertheilten Lichts, durch seine grofse Ausdehnung und durch das Unerklärbare seines ganzen Wesens vor allen andern ausgezeichnet. Seine Gestalt wird nicht unangemessen mit der des geöffneten Rachens eines Thieres verglichen. Ein Theil dieses Nebels ist ungemein hell, ein anderer sehr blafs und matt, und wieder ein anderer ganz dunkel bis zur völligen Schwärze. Der hellste Theil scheint nicht sowohl in einem stetigen Lichte zu glänzen, als vielmehr in beweglichen Flammen zu lodern. Die dunkelsten Stellen sind von den hellsten ohne Abstufung getrennt. Auch die in ihm und um ihn stehenden Fixsterne zeichnen sich durch einen besonders hellen Glanz aus, und die Stellung der meisten scheint eine besondere Beziehung zu dem Nebel selbst zu haben. In den dunkelsten Theilen desselben sieht man jetzt einige sehr feine Sternchen, die höchst wahrscheinlich früher nicht da gewesen sind. Auch beobachtete Schroeter in diesem Nebel pyramidalische Lichtkörper, die schon nach einigen Tagen wieder verschwunden sind. Welche Veränderungen müssen in dieser ungeheuren Nebelmasse vor sich gehn, da sie uns in einer so gewaltigen Entfernung noch so bedeutend erscheinen.

Fig. 148.

F. Doppelsterne.

Nebst den Sterngruppen und Nebelmassen, die wir in dem vorhergehenden Abschnitte betrachtet haben, giebt es noch eine andere Gattung von Himmelskörpern, die wir erst seit einigen Jahrzehnten näher kennen gelernt haben, und die unsere Aufmerksamkeit in einem besonders hohen Grade zu erregen geeignet sind: die *doppelten und vielfachen Sterne*. Wir fügen auch hier das Neueste zu dem, was bereits oben[1] über diesen Gegenstand gesagt worden ist.

Die ungemein grofse Anzahl dieser Sterne macht es äufserst unwahrscheinlich, dafs sie uns nur so nahe stehend erscheinen, weil sie auf derselben Gesichtslinie, aber vielleicht sehr weit hinter einander, stehn; dazu kommt aber noch, dafs man beinahe bei allen eine Bewegung des einen Sternes um den andern bemerkt hat, so dafs man also an dem Zusammengehören derselben zu einem gemeinschaftlichen System nicht weiter zweifeln kann. Die Doppelsterne sind also keine blofsen optischen Erscheinungen, sondern sind wahrhaft physisch doppelt.
Fig. 149. Gewöhnlich ist der eine, der Centralstern, viel gröfser als der
Fig. 150. andere, wie z. B. bei Rigel im Orion oder bei dem Polarstern; oft sind aber auch beide sehr nahe gleich grofs, wie bei Kastor in den Zwillingen oder bei γ Jungfrau. Ihre Distanzen sind ebenfalls sehr verschieden. So ist bei den sechs in den beiden letzten Figuren verzeichneten

für Kastor	die Distanz	5	Secunden
– γ Jungfrau	—	3	—
– ζ grofse Bär	—	14	—
– Rigel im Orion	—	9	—
– γ Widder	—	10	—
– Polarstern	—	19	—

Obschon die Doppelsterne bei weitem unter den vielfachen die zahlreichsten sind, so bemerkt man doch auch mehrere dreifache Sterne, die ebenfalls ein gemeinschaftliches System unter einander bilden[2].

Ein solcher dreifacher Stern ist z. B. im Orion $A = 72^\circ\, 15'$,

---

1 S. Art. *Fixsterne*. Bd. IV. S. 336.

2 Struve führt in seinem Werke: Mensurae stellarum duplicium, Petersb. 1837, unter 2787 vielfachen Sternen 64 dreifache, 3 vierfache und einen fünffachen an.

D = 14° 15′, von denen zwei der VIIten und der dritte der Xten Gröſse ist. Andere sieht man in Sternbilde des Luchses A = 97° 30′, D = 59° 37′, bei ζ Krebs, ξ Waage, ψ Cassiopeia, π Einhorn, ψ Waage u. s. w.

Unter den vierfachen Sternen ist Θ Orion ausgezeichnet. Er steht nahe in dem dunkelsten Theile des merkwürdigen Nebels des Orion, und die vier Sterne desselben bilden ein regelmäſsiges Viereck. Obschon dieser schöne Gegenstand schon seit langer Zeit von den Astronomen mit den besten Fernröhren beobachtet worden ist, so entdeckte doch Struve im J. 1825 in diesem Viereck noch einen kleinen fünften Stern, der seitdem so hell geworden ist, daſs ihn jetzt jeder mit einem guten Fernrohre versehene Beobachter ohne Anstand sehn kann. Es scheint daher, daſs dieser *neue* Stern erst in den letzten Zeiten entstanden und daſs er seitdem im Wachsen begriffen ist. Im Jahr 1830 fand J. South oder Lamond in derselben Gegend noch einen neuen, bisher nicht bemerkten kleinen Stern.

Da von den Doppelsternen, wie gesagt, der eine sich um den andern bewegt, so kann es sich ereignen, daſs auch, für unsere Stellung gegen dieselben, der eine genau vor dem andern vorbeigeht, oder daſs uns ein Stern von einem andern bedeckt wird. Wenn nämlich die Bahn des beweglichen Sternes, die er um seinen Centralstern beschreibt, sehr schief gegen unsere Gesichtslinie liegt, so wird der bewegliche Stern uns in einer geraden, durch den Centralstern gehenden, Linie sich zu bewegen scheinen. Dieses ist der Fall mit dem Doppelstern τ im Ophiuchus A = 268° 15′, D = 8° 10′ südlich. Der ältere Herschel sah ihn im J. 1781 noch als einen obschon bereits sehr nahen Doppelstern, aber sein Sohn und auch Struve sahen ihn im J. 1828 nur noch einfach. Nach einiger Zeit wird er uns ohne Zweifel wieder doppelt erscheinen. Der Doppelstern ζ Orion im Gegentheile wurde von dem älteren Herschel gegen das Jahr 1785 als ein einfacher Stern beobachtet, während wir ihn jetzt doppelt sehen. Dasselbe ist der Fall mit ζ Hercules, δ Cygni und γ Jungfrau, die früher einfach waren und jetzt doppelt gesehn werden.

I. Berechnung der Bahnen der Doppelsterne.

Vorzüglich interessant würde die nähere Kenntniſs der *Bahnen* dieser Doppelsterne seyn, und es sind auch bereits

mehrere Versuche zu diesem Zwecke mit verschiedenem Glücke gemacht werden. Es ist wohl für sich klar, dafs diese Bestimmungen grofsen Schwierigkeiten unterworfen sind, da sie schon bei den Planeten unseres Sonnensystems den Astronomen so viel Mühe gemacht haben, und da dort noch zwei Elemente hinzukommen, die nur sehr schwer mit einiger Genauigkeit zu erhalten sind, nämlich erstens die *Entfernung* des Systems des Doppelsterns von uns, und zweitens die *Masse* oder, was dasselbe ist, die *Charakteristik* des Systems, von der wir bereits oben (Abtheilung D) gesprochen haben. Der erste, der einen Versuch dieser Art machte, war Savary, welcher eine schöne Methode[1] mitgetheilt und dieselbe auch sogleich auf den Doppelstern ξ Ursae majoris angewendet hat. Dieselbe Aufgabe behandelte Encke[2] auf einem anderen Wege, und er wendete seine Methode auf den Doppelstern p Ophiuchi an. Im Jahre 1834 schlug der jüngere Herschel[3] ein sinnreiches, aber blofs graphisches Verfahren vor, das jetzt, wo dieser Gegenstand für uns noch gleichsam in seiner Kindheit liegt, sehr nützlich und in vielen Fällen sehr angemessen erscheint, das aber späterhin, wenn unsere Kenntnisse einmal weiter vorgerückt seyn werden, der eigentlich strengen Berechnung der Beobachtungen wird nachgesetzt werden müssen. Endlich hat auch Mädler diesen wichtigen Gegenstand seiner gewünschten Ausbildung näher zu bringen gesucht, welchem wir in dem, was über die Bestimmungen dieser Bahnen gesagt wird, hier folgen wollen[4].

Ehe man an die Bahnbestimmungen der Doppelsterne geht, sollte die Frage beantwortet werden, welches *Attractionsgesetz* diesen Bestimmungen zu Grunde zu legen ist? Wir kennen bisher in der Natur nur ein einziges dieser Gesetze, das Newton'sche Gesetz der Attraction, nach welchem jeder Körper den anderen im Verhältnifs seiner Masse und verkehrt wie das Quadrat der Entfernung anzieht. Die volle und absolute Gültigkeit dieses Gesetzes für alle Körper unseres Sonnensystems steht fest und ist über allen weiteren Zweifel erhaben. Gilt es

---

1 Connaissance des Temps. 1822 u. 1830.

2 Berliner astron. Jahrbuch. 1832.

3 Mem. of the astron. Soc. T. V.

4 S. Astronomische Nachrichten. Bd. XVI. und Schumacher's Jahrbuch für 1839. Stuttg. 1839. S. 57.

aber auch für andere Sonnensysteme, auch für jene doppelten und vielfachen Sterne? Oder mit andern Worten: Ist das gesammte Universum einer einzigen Grundkraft unterworfen, oder giebt es vielleicht mehrere verschiedene Grundkräfte, denen die einzelnen Partialsysteme des Weltalls unterworfen sind? Ist alles Erschaffene *Ein* grofses harmonisches Ganze, oder ist es nur ein Aggregat von unter sich verschiedenen Systemen, grofs und bewunderungswürdig in jedem seiner einzelnen Theile, die aber durch kein gemeinsames Band unter einander verkettet sind? Mit einem Worte: giebt es mehrere Welten, oder besteht nur eine Welt?

Wir müssen die Antwort auf diese Frage der späteren Nachwelt überlassen, und sie wird wahrscheinlich nie vollständig gegeben werden können, da es dem menschlichen Geiste nicht gegönnt ist, das Grenzenlose, Unendliche des Universums zu umfassen. Für uns ist es am einfachsten und natürlichsten, zuerst zu versuchen, ob die Bewegungen der Doppelsterne vielleicht demselben Newton'schen Gesetze unterworfen sind, dem alle Körper unseres Sonnensystems bis zu dem entferntesten Kometen hin gehorchen. Sollte sich diese Voraussetzung bestätigen, so ist für die Auflösung unseres Problems, nämlich für die Bahnbestimmung der Doppelsterne, schon viel gewonnen.

Unter dieser Voraussetzung müssen also folgende drei Bedingungen erfüllt werden.

I. Der Radius Vector des umlaufenden Sterns mufs in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume zurücklegen. Diese Bedingung folgt schon aus der Annahme, dafs der stillstehende Körper, um welchen sich der andere bewegt, auf diesen anderen eine sogenannte *Centralkraft* ausübt, welches auch die nähere Weise seyn mag, wie diese Kraft wirkt, ob sie z. B. verkehrt wie das Quadrat oder wie der Würfel u. s. w. der Entfernung wirken mag.

II. Die Bahn des umlaufenden Körpers mufs ein Kegelschnitt seyn, dessen Brennpunct von dem festen Körper (oder eigentlich von dem gemeinschaftlichen Schwerpuncte beider Körper) eingenommen wird.

III. Endlich mufs das Product der anziehenden Masse des Centralkörpers in das Quadrat der Umlaufszeit des bewegten Körpers dividirt durch den Würfel der Entfernung beider Kör-

per eine constante Gröfse seyn, wie aus dem folgt, was oben (Abtheilung D) über die Charakteristik des Sonnensystems gesagt worden ist. Die letzte Bedingung kann aus den Beobachtungen nur dann abgeleitet oder geprüft werden, wenn zwei oder mehrere Begleiter sich um einen Centralstern bewegen. Bei der zweiten Bedingung mufs noch bemerkt werden, dafs in einer projicirt (von der Seite) gesehenen Bahn der ruhende Stern nicht mehr im Brennpuncte des (verkürzt gesehenen) Kegelschnittes liegen wird, während die erste Bedingung auch für schief gegen uns liegende Bahnen unverändert gilt.

Ist also die Bahn des Doppelsterns ein Kegelschnitt, so hat man eben die sechs Elemente, wie bei den Planetenbahnen, zu bestimmen, nämlich:

I. die Umlaufszeit oder statt derselben die (ihr gleichgeltende) mittlere jährliche Bewegung;
II. die Excentricität;
III. den Ort des Knotens der Bahn;
IV. die Neigung dieser Bahn;
V. den Ort des Periheliums;
VI. die Epoche des Periheliums.

Dabei ist aber folgendes zu bemerken. Bei der Bestimmung einer Planeten- oder Kometenbahn unseres Sonnensystems ist mit dem ersten Elemente (oder der Umlaufszeit) t auch schon die halbe grofse Axe a der Bahn bestimmt. Bezeichnet nämlich m die Masse der Sonne und π die bekannte Ludolph'sche Zahl 3,14159..., so hat man für alle Körper unseres Sonnensystems (nach dem in (D) gesagten) die Gleichung

$$\frac{a^3}{t^2} = \frac{m}{4\pi^2},$$

so dafs also, da m bekannt ist, mit der Umlaufszeit t auch schon die Gröfse a gegeben wird. Nicht so bei den Systemen der Doppelsterne. Da man hier die Masse des Centralsterns noch nicht kennt, so bilden die beiden Gröfsen t und a hier zwei besondere Elemente, deren jedes für sich bestimmt werden mufs. Wir haben daher nebst jenen sechs Elementen noch ein VIItes, nämlich die grofse Axe der Bahn des bewegten Körpers, zu bestimmen, und zwar kann diese grofse Axe, so lange wir den Abstand dieser Sterne von uns (von der Erde oder von der Sonne) nicht kennen, nicht in irgend einem

Längenmaſse, sondern nur als ein Winkel oder als der Bogen eines gröſsten Kreises gefunden werden, unter welchem Bogen uns nämlich jene groſse Axe der Bahn erscheint. Die lineare Gröſse dieser Axe können wir nur dann angeben, wenn uns auch der Abstand des Sternsystems, oder mit andern Worten, wenn uns die *Parallaxe* des Centralsterns bekannt seyn wird.

Lassen wir aber diese Parallaxe einstweilen bei Seite, so hat man, nach dem Vorhergehenden, sieben Elemente zu bestimmen. Dazu werden also auch vier vollständige Beobachtungen (deren jede eine Distanz der beiden Sterne und einen Positionswinkel des bewegten Sterns enthält) hinreichen, diese Bahn mit ihren sieben Elementen vollständig zu bestimmen. Eigentlich braucht man nur sieben Data aus den Beobachtungen, z. B. sieben beobachtete Distanzen, oder sieben Positionswinkel, oder drei Distanzen mit vier Positionswinkeln u. s. w. Allein aus bloſs sieben beliebig gewählten Angaben wird man immer einen diesen Angaben entsprechenden Kegelschnitt ableiten können, der nämlich durch diese sieben so bezeichneten Puncte geht, obwohl jene Puncte gar wohl auch einem andern Kegelschnitte angehören könnten, wenn nämlich das vorausgesetzte Newton'sche Attractionsgesetz nicht gültig seyn sollte, so daſs also, wenn dieses Gesetz auch erst bei den Doppelsternen nachgewiesen werden soll, doch wieder eigentlich acht Beobachtungs-Data erforderlich sind. Allein gewöhnlich wird man noch viel mehr, als acht solche Data durch die Beobachtungen erhalten haben, und dann werden diese überzähligen Data sehr zweckmäſsige Mittel zur Bestätigung und selbst zur weitern Verbesserung der ersten Rechnung dieser Bahnbestimmung abgeben können.

Das erste Gesetz, daſs nämlich die Kraft des ruhenden Sterns eine eigentliche Centralkraft ist, wird sich sehr leicht auf folgende Weise prüfen lassen. Kennt man für irgend eine Zeit die Distanz r der beiden Sterne und die jährliche Aenderung ∂p des Positionswinkels p, und bezeichnen für eine andere, von jener beträchtlich entfernte Zeit r′ und $\partial p'$ ähnliche Gröſsen, so müssen diese Gröſsen der Gleichung entsprechen

$$r^2 . \partial p = r'^2 . \partial p',$$

wenn das zweite Gesetz statt haben soll.

Um eine allgemeine Uebersicht von dem Verfahren einer

Fig. 151. solchen Bahnbestimmung zu geben, sey S der Centralstern und s s' s'' s''' der bewegliche Stern in den vier Beobachtungszeiten. Man kennt also die vier Distanzen Ss, Ss', Ss'' und Ss''', so wie die drei Winkel, welche diese Distanzen unter sich in ihrem gemeinschaftlichen Durchschnittspuncte S bilden, nebst den drei Zwischenzeiten dieser vier Beobachtungen. Verbindet man die vier Orte des bewegten Sterns durch gerade Linien ss', s's'' und s''s''', so erhält man drei geradlinige Dreiecke, in deren jedem man zwei Seiten mit dem von ihnen eingeschlossenen Winkel kennt. Man wird also die Flächen dieser drei Dreiecke berechnen können, und es wird sich jetzt darum handeln, diesen Dreiecken ihre elliptischen Segmente asbs', a's'b's'', a''s''b''s''' so hinzuzufügen, dafs die elliptischen Sectoren ss'S, s's''S, s''s'''S den Zwischenzeiten der Beobachtungen genau proportional sind und für alle vier Oerter derselben Projectionsellipse angehören. Die Gleichungen, welche diese Bedingungen ausdrücken und denen man also in der Rechnung Genüge thun mufs, sind aber transcendent (d. h. direct nicht auflösbar), daher man nothwendig mehrere Versuche anstellen mufs, um diesen Zweck zu erreichen. Man wird also eines der acht Beobachtungsdaten oder auch eine der drei Zwischenzeiten so lange abändern, bis jene Bedingungsgleichungen vollkommen erfüllt sind und die gefundene Ellipse allen Beobachtungen gehörig entspricht.

Die so erhaltene Ellipse ist nur die *scheinbare*, nicht die *wahre*, in welcher letztern der Stern um seinen Centralkörper in der That einhergeht. Wir beziehen nämlich die beobachteten Orte des beweglichen Sterns alle auf eine Ebene, welche die Himmelskugel in demjenigen Puncte berührt, den der Centralstern an derselben einnimmt, und in dieser Ebene liegt also auch die scheinbare Ellipse des Sterns, während die wahre gegen diese Ebene unter irgend einem Winkel geneigt ist. Es ist aber klar, dafs die Mittelpuncte dieser beiden Ellipsen zusammen fallen und beide in jener Ebene liegen, und dafs die scheinbare Ellipse die Projection der wahren Ellipse in jener Ebene ist. Bekanntlich ist nämlich die Projection (nicht nur des Kreises, sondern auch) der Ellipse wieder eine Ellipse, aber die Projection des Brennpunctes der wahren Ellipse fällt nicht in den Brennpunct der scheinbaren (wie dieses wohl mit den Mittelpuncten dieser zwei Ellipsen der Fall ist), und das Verhält-

nifs der beiden Axen dieser Ellipsen ist ebenfalls für beide Curven verschieden. Auf jene tangirende Ebene beziehn sich dann auch die beiden Elemente *Knoten* und *Neigung* der wahren Bahn (also nicht auf die Ekliptik, wie bei den Planeten). Endlich liegt auch in der Bestimmung des Knotens eine (bei Doppelsternen unvermeidliche) Zweideutigkeit. Da wir nämlich durch unsere Beobachtungen nicht entscheiden können, in welchem Theile der wahren Bahn der Nebenstern uns näher ist, als der Centralstern, so kann der gefundene Knoten sowohl der auf- als auch der absteigende seyn, und man findet also eigentlich zwei Ebenen, die in Bezug auf jene, das Himmelsgewölbe tangirende, Ebene dieselben Knotenlinien und auch gleiche, aber entgegengesetzte Neigungen haben.

II. Bestimmung der Masse oder der Parallaxe der Doppelsterne.

Bezeichnet man durch m' die Sonnenmasse, durch a' die halbe grofse Axe einer Planetenbahn, und durch t' die Umlaufszeit dieses Planeten um die Sonne, so hat man nach dem, was oben (D) über die Charakteristik des Planetensystems gesagt worden ist, die Gleichung

$$m' = 4\pi^2 . \frac{a'^3}{t'^2},$$

wo $\pi = 3{,}14159$.. die Ludolph'sche Zahl ausdrückt. Sind für das System eines Doppelgestirns m, a und t gleichbedeutende Ausdrücke (ist also m die Masse des Centralsterns, gegen welche die Masse des Nebensterns sehr klein angenommen wird, a die halbe grofse Axe der Bahn des Nebensterns und t seine Umlaufszeit um den Centralstern), so ist ebenso

$$m = 4\pi^2 . \frac{a^3}{t^2}.$$

Die Division dieser zwei Ausdrücke giebt

$$\frac{m}{m'} = \frac{a^3 t'^2}{a'^3 t^2}.$$

Wird also a in Theilen des Erdbahnhalbmessers, t in Theilen des Erdjahres und m in Theilen der Sonnenmasse ausgedrückt (oder mit andern Worten, wird von den Gröfsen a', t' und m' jede als die Einheit ihrer Art angenommen), so geht die letzte Gleichung in die folgende über:

$$a^3 = m \cdot t^2 \ldots (1.).$$

Fig. 152. Es bezeichne nun S' die Sonne und T' die Erde, s den Central- und s' den Nebenstern, und $sS' = x$ die Entfernung des Centralsterns von der Sonne. Die halben grofsen Axen der Bahnen der Erde und des Nebensterns wollen wir, wie zuvor, durch a' und a ausdrücken, so dafs also $S'T' = a'$ und $ss' = a$ ist. Dieses vorausgesetzt ist also auch der Winkel $S'sT' = \pi$ die Parallaxe des Hauptsterns und $sS's' = \alpha$ die halbe grofse Axe der Bahn des Nebensterns in Secunden eines gröfsten Kreises des Himmels ausgedrückt, so dafs man also hat

$$\pi = \frac{a'}{x} \text{ und } \alpha = \frac{a}{x}.$$

Diese beiden Gleichungen geben, da a' gleich der Einheit ist,

$$a = \frac{\alpha}{\pi},$$

und wenn man diesen Ausdruck von a in der obigen Gleichung (1) substituirt, so erhält man

$$\pi \sqrt[3]{m} = \frac{\alpha}{\sqrt[3]{t^2}} \ldots (E).$$

Diese merkwürdige Gleichung giebt also das Product der Parallaxe des Centralsterns in die Kubikwurzel seiner Masse, wenn die Umlaufszeit und die (scheinbare oder im Winkel ausgedrückte) halbe grofse Axe der Bahn des Nebensterns bekannt ist.

Wir werden weiter unten die Gröfsen α und t für mehrere Doppelsterne angeben. Die folgende kleine Tafel stellt einige derselben zur bequemen Uebersicht zusammen.

Sterne	α	t	$\pi \sqrt[3]{m}$
α Geminor. oder Castor	7'',008	230,300 Jahre	0,1865
ξ Ursae major	2'',290	60,460 —	0,1487
γ Virginis . .	5'',350	157,562 —	0,1834
η Coron. bor.	1'',192	43,340 —	0,0965
σ Coronae . .	2'',928	199,95 —	0,0856
p Ophiuchi .	4'',316	80,610 —	0,2313
(3062) Struve	1'',003	84,514 —	0,0545
61 Cygni . .	15'',000	540,000 —	0,2262

Setzt man die Masse des Centralsterns nahe von derselben Gröſse, wie die Sonnenmasse, was das einfachste ist, da wir über die Massen der Doppelsterne noch ganz ungewiſs sind, so bezeichnen die Zahlen der letzten Columne die *Parallaxen* der acht in der Tafel erwähnten Doppelsterne. Wollte man die Masse des Centralsterns tausendmal kleiner nehmen, als die Sonnenmasse, so würde die Parallaxe zehnmal gröſser werden, als sie die Tafel angiebt, so wie bei einer tausendmal gröſseren Sternmasse die Parallaxe des Sterns auf den zehnten Theil der tabellarischen Gröſse reducirt wird. Könnte man endlich auf irgend einem andern Wege die Parallaxe des Doppelsterns finden, so würde man auch durch die obige Gleichung (E) die Masse des Centralsterns in Theilen unserer Sonnenmasse bestimmen können.

Es ist aber viel wahrscheinlicher, daſs die Masse des Centralsterns gröſser ist, als die der Sonne. In unserm Sonnensysteme haben die von Monden begleiteten Planeten durchaus zugleich die gröſseren Massen, wie dieses auch, wenn man die Erklärung, die Laplace von der Entstehung des Sonnensystems aufgestellt hat, annimmt, nicht wohl anders seyn kann. Darf man sich diese Analogie erlauben, so wird unsere Sonne, da sie ein isolirter, von keiner andern Nebensonne begleiteter Himmelskörper ist, auch eine kleinere Masse haben, als die meisten Doppelsterne. Man wird daher die wahren Parallaxen der in der Tafel angeführten Fixterne eher kleiner als gröſser zu erwarten haben, so daſs wir uns nicht leicht Hoffnung machen können, eine Parallaxe zu finden, die einige Zehntheile einer Raumsecunde bedeutend übertrifft. Für den Doppelstern 61 Cygni haben wir oben gefunden $\alpha = 15''$, $t = 540$ Jahre, $\pi = 0'',3136$, und damit giebt die Gleichung (E) $m = \frac{\alpha^3}{\pi^3 t^2}$ oder $m = 0,3753$ der Sonnenmasse.

Diese Betrachtungen geben uns zugleich ein Mittel, uns eine allgemeine Vorstellung von den *Durchmessern* der Fixsterne zu machen, wie sie uns in guten Fernröhren, wenn sie von allem falscher Lichte befreit werden, erscheinen müſsten. Fig. 153.
Sey wieder S′ und T′ der Mittelpunct der Sonne und der Erde, s der Mittelpunct eines Fixsterns, und $S'P = \frac{1}{2}\delta'$, so wie $sp = \frac{1}{2}\partial$ der scheinbare (im Winkel ausgedrückte) Halbmesser

der Sonne und des Sterns, wie beide von dem Mittelpuncte T' der Erde gesehn werden. Ist überdiefs, wie zuvor, T's oder S's = x und S'T' = a' der Halbmesser der Erdbahn, so hat man

$$S'P = a' \text{Sin.} \tfrac{1}{2} \partial' \text{ und } sp = x \text{Sin.} \tfrac{1}{2} \partial,$$

also auch

$$\frac{\partial}{\partial'} = \frac{sp}{S'P} \cdot \frac{a'}{x},$$

oder da $a' = 1$ und nach dem Vorhergehenden $x = \frac{a'}{\pi} = \frac{1}{\pi}$ ist,

$$\frac{\partial}{\partial'} = \frac{sp}{S'P} \cdot \pi.$$

Ist dann überhaupt M die Masse, D die Dichtigkeit und V das Volumen eines Körpers, so hat man die bekannte Gleichung

$$M = D . V,$$

woraus folgt, dafs sich bei zwei Kugeln von gleicher Dichtigkeit die Massen wie ihre Volumina, das heifst, wie die Würfel ihrer Halbmesser verhalten. Nimmt man also, da wir nichts Näheres wissen, die Dichte des Sterns nahe gleich der Dichte der Sonne, so ist

$$\frac{m}{m'} = \left(\frac{sp}{S'P}\right)^3,$$

und dieses in den obigen Ausdruck für $\frac{\partial}{\partial'}$ substituirt giebt

$$\partial = \pi \partial' . \sqrt[3]{\frac{m}{m'}},$$

oder da die Masse m' der Sonne gleich der Einheit ist,

$$\partial = \pi \partial' . \sqrt[3]{m} = \pi \text{Sin.} \partial' . \sqrt[3]{m}.$$

Es ist aber der mittlere scheinbare Halbmesser der Sonne $\frac{1}{2} \partial' = 0° 16' 0'',8$, also ist auch der scheinbare Durchmesser ∂ des Fixsterns

$$\partial = 0{,}009316 \, \pi \sqrt[3]{m} \ldots (F).$$

Substituirt man in dieser Gleichung die Werthe von $\pi \sqrt[3]{m}$ aus der vorhergehenden Tafel, so erhält man für die scheinbaren *Durchmesser* jener Fixsterne:

	scheinb. Durchmesser.
α Geminorum . .	0″,0017
ξ Ursae maj. . .	0,0014
γ Virginis . . .	0,0017
η Coronae bor. .	0,0009
σ Coronae bor. .	0,0008
p Ophiuchi . . .	0,0021
(3062) Struve . .	0,0005

also der gröfste dieser Durchmesser noch nicht gleich dem zweitausendsten Theile einer Raumsecunde, so dafs wir also wohl alle Hoffnung aufgeben müssen, den scheinbaren Durchmesser eines Fixsterns durch directe Messung je zu erhalten. Damit harmonirt denn auch das beobachtete plötzliche Verschwinden der Sterne hinter dem Monde oder den Planeten. Um den Raum von $\frac{2}{1000}$ Secunde zu durchlaufen, braucht der Mond nur $\frac{2}{500}$ Zeitsecunde, so dafs also, bei der beinahe unmerklichen Atmosphäre des Mondes, jene Sternverschwindungen nur die Sache eines untheilbaren Augenblicks seyn können.

Hier wird der Ort seyn, Savary's sehr sinnreiche Methode, die Parallaxe der Doppelsterne zu bestimmen, zu erwähnen. Wenn die Ebene der Bahn, die wir hier, der Kürze wegen, als kreisförmig voraussetzen, auf der Gesichtslinie von der Erde zu dem Sterne senkrecht steht, so werden alle Puncte dieser Bahn nahe gleichweit von der Erde entfernt seyn. Wenn aber umgekehrt die Ebene der Bahn nahe in diese Gesichtslinie fällt, so wird der Nebenstern um den Centralkörper nahe eine gerade Linie zu beschreiben scheinen, in deren Mitte Fig.
der Centralkörper liegt, und die Puncte mAn der der Erde T 154.
zugekehrten Hälfte der Bahn werden alle näher bei der Erde seyn, als die entsprechenden Puncte der zweiten, von der Erde abgewendeten Hälfte mBn. Nehmen wir an, der Nebenstern bewege sich von A nach m, B und n, so wird der Durchmesser AOB die Bahn in zwei Hälften theilen: in die erste Hälfte AmB, in welcher sich der Nebenstern von der Erde entfernt, und in die zweite BnA, in welcher er sich wieder der Erde nähert. Obschon nun in einem Kreise die Bewegung nicht anders als gleichförmig sein kann, so wird er uns doch die Linie mOn hin und zurück mit einer veränderlichen Geschwindigkeit zurückzulegen scheinen. Wenn er für uns in der Mitte

O der Linie mOn erscheint, wenn er also in der That in dem Puncte A oder B ist, so wird die Richtung seiner (immer gleich grofsen) Geschwindigkeit senkrecht auf die Gesichtslinie TO stehen und daher diese Geschwindigkeit selbst am gröfsten erscheinen. Wenn er aber in den beiden Puncten m und n seiner Bahn ist, so wird hier für uns seine Geschwindigkeit am kleinsten sein. Allein diese Verschiedenheit seiner (blofs scheinbaren) Geschwindigkeiten wird ihn nicht hindern, jede Hälfte Om oder On der Linie mn, sowohl hin als zurück, immer in derselben Zeit zurückzulegen, oder mit andern Worten, diese Unterschiede in der Richtung seiner Bewegung werden auf die Zeit, in welcher der Nebenstern die erste Hälfte AmB und die zweite BnA zurücklegt, keinen Einflufs haben. Allein wenn der Halbmesser seiner Bahn Om oder On so grofs seyn sollte, dafs selbst das Licht noch mehrere Tage oder Wochen gebrauchte, um ihn zu durchlaufen, dann würden die Zeiten der halben Revolution durch die zwei genannten Hälften AmB und BnA nicht mehr gleich grofs seyn, sondern die erste würde uns gröfser erscheinen, als die zweite.

Um dieses besser zu übersehn, wollen wir annehmen, der Nebenstern gebrauche genau 1000 Tage, seine ganze Bahn um den Centralstern O zu durchlaufen, und der Halbmesser OA = Om betrage 36200 Millionen Meilen, die das Licht in 10 Tagen zurücklegt. Wenn wir ihn heute in dem Puncte A seiner Bahn, also bei dem Centralsterne O sehen, so wird er von heute in 250 Tagen den vierten Theil seines Umkreises zurückgelegt haben und daher in dem Puncte m seyn. Allein dieser zweite Punct m ist nahe um den Halbmesser der Satellitenbahn von der Erde T weiter entfernt, als der erste Punct A, und da das Licht 10 Tage gebraucht, diesen Halbmesser zu durchlaufen, so werden wir ihn nicht nach 250 Tagen, sondern um volle 10 Tage später, also erst in 260 Tagen nach jener Epoche, in dem Puncte m ankommen sehen, weil nämlich das von ihm bei seiner Ankunft in m ausgesendete Licht erst in 10 Tagen später bei der Erde ankommen kann, als wenn es von dem Puncte A ausgegangen wäre. Ganz dasselbe wird auch von dem Puncte B gelten, von welchem das Licht, um bis zu uns zu gelangen, wieder 10 Tage mehr, als von m, also 20 Tage mehr, als von A aus, gebrauchen wird. Die Folge davon wird seyn, dafs der Nebenstern die erste Hälfte AmB seiner Bahn (oder dafs er scheinbar

die gerade Linie Om hin und zurück) nicht in 500 Tagen (wie er in der That thut), sondern für uns erst in 520 Tagen zurückzulegen scheinen wird.

Der umgekehrte Fall wird in der zweiten Hälfte BnA seiner Bahn eintreten, wo der Nebenstern von seinem entferntesten Puncte B bis zu dem der Erde nächsten Puncte A übergeht. Wenn wir nämlich den Nebenstern am 520sten Tage nach der ersten Beobachtung in der Richtung TAB sehn, so wird er nach weitern 250 Tagen zwar in der That genau den vierten Theil seiner Bahn zurückgelegt haben, aber für uns wird er in derselben Zeit einen gröſsern Bogen zu durchlaufen scheinen, weil das Licht, so wie der Stern von B nach n vorrückt, immer einen kürzern Weg, um bis zu uns zu gelangen, haben, also auch immer eine kürzere Zeit dazu verwenden wird. Er wird uns daher wieder um 10 Tage früher in n und 20 Tage früher in A erscheinen, als dieſs geschehen wäre, wenn der Durchmesser der Bahn viel kleiner gewesen, oder auch, wenn die Geschwindigkeit des Lichtes noch vielmal gröſser wäre, als sie in der That ist.

Man wird also den Nebenstern die erste Hälfte AmB seiner Bahn in 520 und die zweite Hälfte BnA in 480 Tagen durchlaufen sehn. Die Summe beider Zahlen beträgt wieder 1000 Tage oder die *wahre* Umlaufszeit des Sterns, wie es auch seyn muſs, weil diese von der Geschwindigkeit des Lichtes verursachten Ungleichheiten zu beiden Seiten der Gesichtslinie TAB sich wieder aufheben. Jene beobachteten Hälften der Umlaufszeit sind daher um 20 Tage, d. h. um ebenso viele Tage verschieden, als das Licht gebraucht, um den Durchmesser AB der Bahn des Nebensterns zu durchlaufen. Da aber das Licht, wie bekannt, in jedem Tage 3620 Millionen Meilen durchläuft, so beträgt die wahre Gröſse des Durchmessers dieser Bahn 20mal 3620 oder 72400 Millionen Meilen. Kennt man demnach einmal die absolute Gröſse des Halbmessers Om der Bahn eines Doppelsterns, so ist es sehr leicht, auch die Distanz OT des Centralsterns O von der Erde T oder auch die Parallaxe des Sterns zu finden. Zu diesem Zwecke braucht man nämlich nur (wenn anders der Durchmesser mn der Bahn, in welcher der Nebenstern einherzugehn scheint, auf der Gesichtslinie TO senkrecht steht) den Winkel $OTm = OTn = \alpha$

zu kennen, um sofort die Distanz TO $= \varDelta$ durch folgende einfache Gleichung zu finden:

$$\varDelta = \frac{a}{\text{Sin.}\,\alpha}.$$

Ist dieser Winkel in unserm Beispiele $\alpha = 10$ Secunden, so erhält man sofort TO $= \varDelta = 747$ Billionen Meilen, eine Distanz, welche das Licht erst in 566 Jahren zurücklegen würde. Die Parallaxe π dieses Sterns aber ist

$$\pi = \frac{A}{\varDelta\,\text{Sin.}\,1''},$$

wo A gleich dem Halbmesser der Erdbahn oder gleich 20 Millionen Meilen ist, so daſs man also für π die sehr kleine Gröſse 0,0000308 Sec. erhalten würde.

III. Verzeichniſs der vorzüglichsten Doppelsterne.

Die folgende Tafel giebt eine Uebersicht der vorzüglichsten Doppelsterne. Die beiden ersten Columnen neben den Namen dieser Sterne enthalten die Rectascension und Poldistanz der Sterne für das Jahr 1826, die dritte giebt die Distanz und die vierte die scheinbare Gröſse der beiden Sterne. Der Tafel folgen Anmerkungen, die sich auf die Nummern (in der ersten Columne der Tafel) dieser Sterne beziehen. Der in diesen Anmerkungen öfter erwähnte *Positionswinkel* des beweglichen Sterns wird so gezählt, daſs er gleich Null ist, wenn der Nebenstern genau nördlich vom Hauptstern steht, und gleich 90 Graden, wenn er östlich von demselben steht. *Steigen* die Zahlen des so genommenen Positionswinkels, so heiſst die Bewegung des Nebensterns *direct*, im entgegengesetzten Falle aber *retrograd*.

Nr.	Namen	Rectascens.		Poldistanz		Distanz	Gröſse
1	35 Piscium . .	0h	6′	82°	9′	11″	6;8
2	η Cassiopeiae .	0	38	33	7	9	4;9
3	65 Piscium . .	0	40	63	13	6	7;7
4	26 Ceti . . .	0	54	89	34	16	7;10
5	α Ursae minor.	1	0	1	37	19	2;11
6	ψ Cassiopeiae .	1	13	22	46	—	4;8;9
7	100 Piscium .	1	25	78	20	16	7;8
8	Anonyma . .	1	34	29	28	6	8;9
9	γ Arietis . .	1	44	71	33	10	5;5
10	α Piscium . .	1	53	88	4	5	2;4
11	γ Andromedae .	1	53	48	30	11	3;5
12	66 Ceti . . .	2	3	86	45	15	6;8
13	ι Cassiopeiae .	2	14	23	23	—	4;7;8
14	η Persei . . .	2	38	34	50	30	4;8
15	π Arietis . .	2	39	73	15	3	4;9
16	ε Arietis . .	2	49	69	23	1	[illegible];7
17	7 Tauri . . .	3	24	66	7	22	6;7
18	32 Eridani . .	3	45	93	27	8	4;6
19	ε Persei . . .	3	46	50	30	8	3;9
20	μ Persei . .	4	2	42	3	91	—
21	62 Tauri . .	4	13	66	8	29	6;8
22	ι Camelopard. .	4	18	36	29	10	5;6
23	ω Aurigae . .	4	47	52	22	8	4;8
24	26 Orionis . .	4	49	75	45	39	7;8;15
25	ι Leporis . .	5	4	102	5	13	4;10
26	β Orionis . .	5	6	98	25	9	1;10
27	117 Tauri . .	5	22	73	5	10	6;6
28	λ Orionis . .	5	26	80	11	4	4;6
29	Θ Orionis . .	5	27	95	32	—	—
30	σ Orionis . .	5	30	92	43	—	—
31	ζ Orionis . .	5	32	92	4	2	2;7
32	δ Monocerotis .	6	14	85	19	14	6;8
33	11 Monocerotis	6	20	96	55	3;7	6;7;9
34	12 Lyncis . .	6	30	30	23	3;10	6;7
35	38 Geminorum	6	44	76	36	5	6;8
36	ζ Geminorum .	6	53	69	10	91	—
37	δ Geminorum .	7	9	67	43	7	3;12
38	α Geminor. Castor	7	23	57	45	5	3;4
39	201 Geminorum	7	38	71	14	6	6;9
40	Anonyma . .	7	39	84	5	9	7;11
41	ζ Cancri . . .	8	2	71	50	6	5;6
42	18 Hydrae . .	8	26	82	46	11	6;8
43	Anonyma . .	8	33	47	41	9	7;8
44	σ^2 Ursae maj.	8	55	22	10	5	5;8
45	Anonyma . .	9	2	36	34	20	7;7

Nr.	Namen	Rectascens.		Poldistanz		Distanz	Gröfse
46	38 Lyncis . .	9h	7′	52°	28′	3″	4;7
47	Anonyma . .	9	7	27	56	1	8;8
48	ω Leonis . .	9	20	80	10	—	6;7
49	γ Leonis . .	10	10	69	16	3	2;4
50	54 Leonis . .	10	46	64	18	7	5;7
51	Anonyma . .	11	3	15	35	29	7;7
52	ξ Ursae maj. .	11	9	57	30	3	5;6
53	ι Leonis . .	11	14	78	31	2	4;7
54	2 Canis Venat.	12	7	48	24	11	6;8
55	Comae Berenic.	12	12	62	55	9	—
56	24 Comae Berenic.	12	26	70	39	21	5;6
57	γ Virginis . .	12	33	90	29	3	3;3
58	35 Comae Beren.	12	44	67	49	29	5;8;9
59	Anonyma . .	12	46	93	53	7	7;10
60	12 Canis Venat.	12	48	50	44	20	3;7
61	Θ Virginis . .	13	1	94	36	8	4;11
62	ζ Ursae maj. .	13	17	34	9	14	3;4
63	Anonyma . .	13	25	89	25	2	8;9
64	ο Virginis . .	13	34	85	33	4	—
65	κ Bootis . .	14	7	37	23	13	5;8
66	Anonyma . .	14	14	80	47	7	6;8
67	π Bootis . .	14	32	72	49	7	5;6
68	ζ Bootis . . .	14	33	75	31	2	3;4
69	ε Bootis . . .	14	37	62	11	4	3;6
70	ξ Bootis . . .	14	43	70	11	9	5;8
71	39 Bootis . .	14	44	40	34	5	6;7
72	44 Bootis . .	14	58	41	38	2	5;6
73	η Coronae bor.	15	16	59	4	1	5;6
74	Bootis . . .	15	18	52	1	1	—
75	μ Bootis . .	15	18	51	59	104	—
76	δ Serpentis . .	15	26	78	53	3	4;5
77	ζ Coronae bor.	15	33	52	49	7	7;7
78	γ Coronae bor.	15	35	63	8	2	4;7
79	ξ Librae . . .	15	54	100	52	7	5;5;7
80	β Scorpii . .	15	55	109	18	14	—
81	κ Herculis . .	16	0	72	29	31	5;6
82	49 Serpentis .	16	4	76	1	4	6;7
83	σ Coronae bor.	16	8	55	40	1	5;7
84	υ Coronae bor.	16	10	60	24	—	7;12;13
85	γ Herculis . .	16	14	70	25	38	4;15
86	λ Ophiuchi . .	16	22	87	38	7	4;7
87	ζ Herculis . .	16	35	58	5	1	3;7
88	43 Herculis . .	16	37	81	5	80	—
89	210 Herculis .	16	57	61	40	—	6;9
90	μ Draconis . .	17	3	35	18	4	5;5

Nr.	Namen	Rectascens.		Poldistanz		Distanz	Gröſse
91	α Herculis . .	17h	6′	75°	24′	5″	3;7
92	δ Herculis . .	17	8	64	57	28	3;8
93	Anonyma . .	17	52	59	56	20	6;8
94	τ Ophiuchi .	17	53	98	10	—	4;6
95	95 Herculis .	17	54	68	25	7	5;5
96	70 p Ophiuchi	17	56	87	27	4	4;6
97	59 α Serpentis	18	18	89	55	4	6;9
98	Anonyma . .	18	24	25	7	12	8;11
99	α Lyrae . . .	18	31	51	23	43	1;12
100	ε Lyrae . . .	18	38	50	30	4	4;6
101	ζ Lyrae . . .	18	38	52	35	44	3;4
102	β Lyrae . . .	18	43	56	55	46	2;8;10
103	ο Draconis . .	18	48	30	49	28	6;8
104	Θ Serpentis .	18	48	86	2	22	4;4
105	η Lyrae . . .	19	8	51	8	29	4;10
106	Θ Lyrae . .	19	10	52	11	100	4;11
107	Anonyma . .	19	21	53	50	7	9;9
108	β Cygni . .	19	24	62	25	34	4;6
109	δ Cygni . .	19	39	45	17	2	3;8
110	ψ Cygni . .	19	40	56	39	25	5;8
111	ζ Sagittae . .	19	41	71	17	8	6;8
112	Anonyma . .	19	59	54	42	37	—
113	Anonyma . .	20	6	94	2	14	7;8
114	ϱ Capricorni .	20	20	108	24	11	5;10
115	γ Delphini . .	20	38	74	31	12	5;6
116	ε Equulei . .	20	50	86	23	—	5;6;7
117	61 Cygni . .	20	59	52	6	15	6;7
118	β Cephei . .	21	26	20	13	13	3;8
119	μ Cygni . .	21	36	62	1	6	5;6
120	Anonyma . .	21	46	35	0	20	6;6
121	Anonyma . .	22	7	20	44	15	7;10
122	Anonyma . .	22	2	31	33	—	7;8;8
123	ζ Aquarii . .	22	20	90	55	5	4;4
124	Honores Frider.	22	38	51	26	—	7;9
125	107 Aquarii .	23	37	109	41	5	7;8
126	σ Cassiopeiae .	23	50	35	12	3	6;10
127	Anonyma . .	23	55	56	42	—	7;7;9
128	Anonyma . .	23	57	32	32	—	7;8

Anmerkungen
zu der vorhergehenden Tabelle.

Nr. 1. 35 Piscium. Der gröfsere Stern ist weifs, der kleinere blau. Sie können selbst bei Beleuchtung des Rohrs in ihren Farben noch erkannt werden.

Nr. 2. η Cassiopeiae. Ein gelber Hauptstern mit einem purpurfarbenen Begleiter. Die Winkelbewegung des letzten um den ersten betrug in den letzten 57 Jahren 30 Grade. Die Distanz ist jetzt in Abnahme begriffen.

Nr. 3. 65 Piscium. Ein schönes Bild im Fernrohre.

Nr. 4. 26 Ceti. Der grofse weifs, der kleine blaugrün; schwer zu sehen.

Nr. 5. α Ursae minor. Polarstern. Der gröfsere ist gelblich. Seit 20 Jahren hat man keine Veränderung in dem Positionswinkel des kleinen Sterns gesehen. Nach zahlreichen Beobachtungen Struve's ist die Aberration (also die Geschwindigkeit des Lichts) für den Begleiter etwas geringer, als für den Hauptstern.

Nr. 6. ψ Cassiopeiae. Von Struve zuerst als dreifacher Stern erkannt. Die beiden Begleiter sind sehr lichtschwach. Sie sind der 4ten, 8ten und 9ten Gröfse. Die beiden letzten haben die Distanz von 3 Secunden, und die beiden ersten 32 Secunden.

Nr. 7. 100 Piscium. Der bedeutenden Distanz von 16″ ungeachtet hat sich der Positionswinkel seit 48 Jahren um 6 Grade geändert, so dafs eine Bahnbewegung von nahe 3 Jahrtausenden fast unverkennbar ist. Beide Sterne weifs.

Nr. 8. Anonyma. Eigentlich ein dreifacher Stern; alle drei liegen sehr nahe in einer geraden Linie.

Nr. 9. γ Arietis. Beide Sterne hell und sehr weifs. Beide stehn in demselben Declinationskreise, also der eine genau nördlich über dem andern, ohne dafs man seit 50 Jahren eine Stellungsveränderung bemerkt hätte.

Nr. 10. α Piscium. Dieses Sternpaar gehört zu den hellsten Doppelsternen. Der gröfsere ist grünlich, der kleinere blau. Seit 55 Jahren ist keine Aenderung der Position bemerkt worden.

Nr. 11. γ Andromedae. Dieser Doppelstern ist durch seine schönen Farben ausgezeichnet; der grofse ist goldgelb, der

kleine tiefblau. Auch hier wurde bisher keine Aenderung der Position beobachtet.

Nr. 12. 66 Ceti. Der grofse gelblich, der kleinere blau. Der Hauptstern hat eine starke eigene Bewegung im Raume, nämlich eine Minute in 150 Jahren, und an dieser Bewegung nimmt der Begleiter Theil. In den letzten 5 Jahren hat der kleine sich um 4° in seiner scheinbaren Bahn um den grofsen fortbewegt, während die Distanz 15″ unverändert blieb. Umlaufszeit nahe 450 Jahre.

Nr. 13. ι Cassiopeiae. Ein ausgezeichnet schöner dreifacher Stern; der grofse ist gelb, die beiden kleinen blau. Eine Aenderung der Position und Distanz ist bisher noch nicht mit Sicherheit bemerkt worden.

Nr. 14. η Persei. Die sehr hervorstechende Farbe des gröfsern ist gelb und die des kleinern blau. Die Distanz scheint unveränderlich, so wie die Position.

Nr. 15. π Arietis. Eigentlich ein dreifacher Stern der 4ten, 9ten und 10ten Gröfse; der entferntere ist der schwächste und schwer zu beobachten; der Hauptstern ist schwach gelblich. Die Position scheint unveränderlich.

Nr. 16. ε Arietis. Beide Sterne sind einander ungemein nahe, vielleicht unter einer halben Secunde. Beide sind gelblich und ihre Duplicität ist schwer zu erkennen.

Nr. 17. 7 Tauri. Herschel d. ä. erkannte ihn als Doppelstern; Struve fand, dafs der Hauptstern selbst wieder aus zwei, nur ½ Secunde entfernten Sternen besteht. Beide sind gelblich und nahe von gleicher Gröfse. Die Position ändert sich jetzt in 6 Jahren um 4 Grade. Der entferntere Nebenstern ist nur der 10ten Gröfse, und sein Abstand von dem Hauptstern 22″.

Nr. 18. 32 Eridani. Der grofse strohfarben, der kleine blau.

Nr. 19. ε Persei. Der grofse weifs, der kleine bläulich, das Bild schön und scharf begrenzt. Die Distanz scheint zu wachsen.

Nr. 20. μ Persei. Der grofse orangefarben.

Nr. 21. 62 Tauri.

Nr. 22. ι Camelopardi. Der grofse gelb, der kleine blau. Position und Distanz scheinen stark veränderlich.

Nr. 23. ω Aurigae. Der grofse granatfarben, der kleine blau.

Nr. 24. 26 Orionis. Ein dreifacher Stern, gelb, blau und bläulich.

Nr. 25. ι Leporis. Wegen der grofsen Verschiedenheit ihres Glanzes konnte der von Herschel d. ält. gesehene schwache Nebenstern weder von seinem Sohne, noch von South, nach von Struve bis 1829 gefunden werden. Die neuesten Beobachtungen des jüngeren Herschel setzen die starke Bewegung des Nebensterns aufser Zweifel; sie ist retrograd und beträgt 23° in 53 Jahren. Der Hauptstern ist mattgrün.

Nr. 26. β Orionis. Der grofse weifs, der kleine bläulich.

Nr. 27. 117 Tauri. Beide weifs. Die Distanz nimmt ab.

Nr. 28. λ Orionis. Der grofse gelblich, der kleine purpurroth. Beide sind in der Distanz 27″ von einem ungemein schwachen Stern der 12ten Gröfse begleitet. Veränderungen sind in diesem dreifachen Sterne noch nicht bemerkt worden.

Nr. 29. Θ Orionis. Ein fünf- oder vielleicht sechsfacher Stern in dem bekannten Trapez des grofsen Orion-Nebels
Fig. 155. ABCD. In diesem Trapez hat Struve noch einen fünften Stern E und Lamont im J. 1837 einen sechsten F gefunden.

Diese Sterne sind:

A	der	7ten	Gröfse,	weifs;
B	—	8-	—	grauweifs;
C	—	5-	—	gelblich;
D	—	6-	—	—
E	—	11-	—	—
F	—	12-	—	—

Seit Herschel d. ält. bis auf unsere Tage hat man noch keine Aenderung der Position der vier ersten Sterne mit Sicherheit bemerkt. Ein Kreis von 23″ Durchmesser umschliefst sämmtliche 6 Sterne.

Nr. 30. σ Orionis, ein vierfacher Stern, der 4ten, 7ten, 8ten und 10ten Gröfse. In den Distanzen und Winkeln hat sich seit Herschel d. ält. nichts geändert. Nahe bei diesem vierfachen Stern steht ein anderer dreifacher, so dafs man beide Systeme, die nur 3,5 Minuten von einander entfernt sind, im Felde des Fernrohrs zugleich beobachten kann.

Nr. 31. ζ Orionis. Grofser gelblichweifs, kleiner bläulich, beide scharf begrenzt. Im Jahre 1782 soll die Duplicität

unsichtbar gewesen seyn, so dafs sich also damals beide Sterne für uns bedeckten. Die Distanz ist sehr veränderlich.

Nr. 32. 8 Monocerotis. Grofser gelb, kleiner purpurfarben.

Nr. 33. 11 Monocerotis. Drei weifse Sterne der 5ten, 5ten und 6ten Gröfse, alle drei sehr hell. Die Abstände der Begleiter von dem Centralstern sind 2″,5 und 7″,2. Seit mehr als 50 Jahren ist keine Positionsänderung bemerkt worden. Die Sterne müssen also entweder von sehr kleiner Masse, oder sehr weit von uns entfernt seyn, und in beiden Fällen setzt ihr starker Glanz in Verwunderung.

Nr. 34. 12 Lyncis. Ein dreifacher Stern, der 5ten, 6ten und 7ten Gröfse, die beiden ersten grünlichweifs und der letzte bläulich. In den Positionen der beiden Begleiter haben sich seit 1780 folgende Veränderungen zugetragen: der nähere (Distanz 1″,5) hat sich in 50 Jahren um 27° 43′, der entferntere (Distanz 8″,7) aber nur um 1° 39′, jener retrograd und dieser direct, bewegt, was ganz mit dem dritten Gesetze Kepler's übereinstimmt.

Nr. 35. 38 Geminorum. Grofser gelblich, kleiner bläulich. Die Position ändert sich sehr langsam und sie deutet auf eine Umlaufszeit von 200 bis 250 Jahren.

Nr. 36. ζ Geminorum. Grofser gelb, kleiner grau.

Nr. 37. δ Geminorum. Grofser weifs, kleiner blau, scharf begrenzt.

Nr. 38. Castor oder α Geminorum. Beide Sterne grünlich schimmernd. Die Duplicität wurde schon 1719 erkannt, seit welcher Zeit der Begleiter nahe 100 Grade um den Hauptstern zurückgelegt hat. Herschel d. jüng. suchte eine Bahn durch graphische Construction zu bestimmen, die bis 1833 mit den Beobachtungen ziemlich gut übereinstimmte, aber seitdem immer mehr davon abweicht. Mädler hat 1837 folgende Elemente dafür berechnet:

Halbe grofse Axe . .	$a = 7'',008$
Excentricität	$e = 0,797$
Knoten	$k = 23° \; 5'$
Neigung	$n = 70° \; 58'$
Abstand des Perihels vom Knoten . . .	$\omega = 87° \; 37'$

Durchgangszeit durch das Perihel
oder Epoche . . . . E = 1913 November 26,
Umlaufszeit . . . . . . T = 230,30 Jahre,
Bewegung retrograd.

Ein schwacher, 73 Secunden entfernter Stern gehört wahrscheinlich auch noch zum System des Castor.

Nr. 39. 201 Geminorum. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 40. Anonyma. Grofser gelb. Struve entdeckte diesen Doppelstern im J. 1825, aber später (1831 und 32) konnte er selbst bei den heitersten Nächten den Begleiter nicht mehr sehn, der vielleicht ein in seinem Lichte veränderlicher Stern ist.

Nr. 41. ζ Cancri. Ein merkwürdiger dreifacher Stern. Der Hauptstern A ist 5ter, B ist 6ter und C endlich 5,6ter Gröfse; alle drei sind gelb. Die Distanz A B ist gleich 1″, A C aber 5″,7. Der nähere Begleiter B läuft in nahe 54 Jahren retrograd um den Hauptstern, und seine Bahn scheint nahe kreisförmig zu seyn, der andere Begleiter C hat in 55 Jahren 37° seiner scheinbaren Bahn zurückgelegt, also zehnmal weniger, als B, was mit Kepler's drittem Gesetze sehr wohl übereinstimmt.

Nr. 42. 18 Hydrae. Grofser gelb, kleiner bläulich.

Nr. 43. Anonyma. Wahrscheinlich ein blofs *optischer* Doppelstern, die blofs für uns so nahe erscheinen, obschon sie vielleicht sehr weit hinter einander stehn. Der grofse ist gelblich, der kleine weifs. Der kleinere beschreibt in Beziehung auf den Hauptstern eine gerade Linie, und seine Entfernung war im J. 1836 gleich 10″, im J. 1828 aber nur 5″. Ist er gleichwohl ein wahrer, physischer Begleiter des Hauptsterns, so ist mit Wahrscheinlichkeit eine baldige Umkehr in seiner scheinbaren Bahn zu erwarten; ist er aber blofs optisch, so wird er um das Jahr 1870 schon über 32″ von dem Hauptstern entfernt seyn.

Nr. 44. σ^2 Ursae majoris. Der kleine Stern hat in 54 Jahren 21° seiner scheinbaren Bahn zurückgelegt und in dieser Zeit seine Distanz von 7″,9 auf 4″,6 geändert, so dafs in den nächsten Jahrzehnten ein sehr nahes Zusammenrücken beider Sterne zu erwarten ist.

Nr. 45. Anonyma. Beide gelb. Der grofsen Distanz unge-

achtet betrug die Winkelbewegung des kleinen doch schon 5 Grade in 16 Jahren.

Nr. 46. 38 Lyncis. Groſser weiſs, kleiner bläulich.

Nr. 47. Anonyma. Ein dreifacher Stern. Die zwei Hauptsterne sind nur 1″ von einander entfernt, und beide der 8ten Gröſse. Der kleine entfernte Begleiter ist nur der 11ten Gröſse und sehr lichtschwach. Eine Aenderung der Position wurde noch nicht bemerkt.

Nr. 48. ω Leonis. Der groſse gelb, der kleine röthlich. Die Distanz ist seit Herschel's d. ält. Beobachtung immer kleiner geworden und die Position hat sich in 53 Jahren um 63 Grade geändert. In den letzten Jahren vermochte ihn Struve nicht mehr doppelt, sondern nur länglich zu erblicken.

Nr. 49. γ Leonis. Einer der schönsten und hellsten Doppelsterne; der groſse goldfarben, der kleine rothgrün. Seit Herschel d. ält. hat sich die Distanz nicht merklich, die Position aber um 22° geändert.

Nr. 50. 54 Leonis. Groſser gelb, kleiner grün. Ein schönes, scharf begrenztes Bild.

Nr. 51. Anonyma. Der eine gelb, der andere gelblichgrau, beide Farben matt. Die Distanz ändert sich sehr stark, die Position nur wenig.

Nr. 52. ξ Ursae majoris. Groſser gelblich, kleiner aschfarben. Schon Savary und nach ihm Herschel d. jüng. haben die Bahn dieses Sterns zu bestimmen gesucht. Da aber beide Bahnen späterhin zu sehr von den Beobachtungen abwichen, versuchte Mädler im J. 1836 eine neue Bahn zu berechnen, und fand folgende Elemente:

$$
\begin{aligned}
a &= 2'',29;\\
e &= 0,404;\\
k &= 95^\circ\ 0';\\
n &= 52\ 15;\\
\omega &= 129\ 40;\\
E &= 1816 \text{ December } 13;\\
T &= 60,460 \text{ Jahre};
\end{aligned}
$$

Bewegung retrograd.

Die Sterne entfernen sich jetzt von einander, und werden in den nächsten Jahren schon in mittelmäſsigen Fernröhren deutlich getrennt erscheinen.

Nr. 53. ι Leonis. Grofser gelblich, kleiner blau. Der kleine hat, ohne seine Distanz zu ändern, seine Position um 7° in 9 Jahren vermindert.

Nr. 54. 2 Canis Venat. Grofser roth, kleiner blau.

Nr. 55. Comae Berenices. Beide gleich grofs und weifsblau.

Nr. 56. 24 Comae Beren. Grofser roth, kleiner blau, beide Farben sehr ausgesprochen. Struve bemerkte die blaue Farbe des kleinen auch dann schon, wenn der grofse noch nicht im Fernrohr ist, was die Ansicht, als sey dieses Blau eine blofse Complementarfarbe, entscheidend wiederlegt. Positionsänderungen wurden bisher nicht bemerkt.

Nr. 57. γ Virginis. Schon Bradley erkannte im J. 1718 die Duplicität dieses Sterns. Damals war ihre Distanz 7″ und ihre Position 160°. Seit dieser Zeit hat der kleine in retrograder Bewegung gegen 300 Grade zurückgelegt. In den Jahren 1834 — 36 war die Distanz beider Sterne so klein, dafs nur noch mit dem grofsen Refractor in Dorpat die Duplicität erkannt wurde. Im Jahre 1838 war die Distanz schon wieder nahe einer Secunde gleich. Mädler hat für diesen Doppelstern folgende Elemente abgeleitet:

a = 5″,35;
e = 0,8680;
k = 58° 22′ 33″;
n = 35 48 2;
ω = 265 59 57;
E = 1836 Febr. 6;
T = 157,562 Jahre;
Bewegung retrograd.

Merkwürdig ist die starke Excentricität dieser Bahn, die selbst die des Encke'schen Kometen noch übertrifft. Struve nahm einen Wechsel der Helligkeit dieser beiden Sterne wahr, da bis 1831 der damals vorangehende schwächer, seit 1834 aber entschieden heller ist, als der andere. Beide Sterne sind gelblich.

Nr. 58. 35 Comae Beren. Eigentlich drei, an Gröfse und Farbe sehr verschiedene Sterne. Die Distanz der beiden helleren ist 1″,4 und die des schwächeren von jenen 29″. Eine Positionsänderung ist noch nicht bemerkt worden.

Nr. 59. Anonyma. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 60. 12 Canis Venat. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 61. Θ Virginis. Dreifach. Von den beiden kleinen ist der dem Hauptstern nähere ungemein fein, aber doch so hell, dafs er selbst eine stärkere Beleuchtung des Fernrohrs verträgt, während der entferntere ungemein lichtschwach ist.

Nr. 62. ζ Ursae maj. Grofser weifs, kleiner bläulich. Position und Distanz scheinen constant.

Nr. 63. Anonyma. Beide gelblich und lichtschwach. Die Position ändert sich in 11 Jahren schon um 19,5 Grade.

Nr. 64. o Virginis. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 65. $\varkappa$ Bootis. Der Hauptstern ist schöngrün, der Nebenstern bläulich; Positionsänderung 3°,4 in 50 Jahren.

Nr. 66. Anonyma. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 67. π Bootis. Grofser weifs, kleiner bläulich.

Nr. 68. ζ Bootis. Der Hauptstern ist zugleich in seinem Lichte veränderlich, bald der 3ten, bald der 4ten Gröfse, während der andere immer der 4ten Gröfse ist. Beide Sterne sind weifs. Eine Positionsänderung wurde bisher nicht bemerkt.

Nr. 69. ε Bootis. Ein schönes Sternpaar; der grofse glänzend gelb, der kleine tiefblau. Positionsänderung 15° in 55 Jahren.

Nr. 70. ξ Bootis. Grofser hellgelb, kleiner purpurroth. Distanz und Position ändern sich schnell.

Nr. 71. 39 Bootis. Der grofse weifs, der kleine purpurfarben.

Nr. 72. 44 Bootis. Ein schöner, bequem zu beobachtender Doppelstern. Grofser gelb, kleiner bläulich. Die Bahn des kleinern geht, erweitert, durch unser Sonnensystem, daher sie uns nur als eine gerade Linie erscheint. Herschel bezeichnet ihn als ein feines Miniaturbild von Castor. Zwischen 1802 und 1819 mufs eine fast centrale Bedeckung beider Sterne vorgefallen seyn.

Nr. 73. η Coronae bor. Grofser gelb, kleiner goldgelb. Mädler hat folgende Elemente der Bahn gegeben:

$$
\begin{aligned}
a &= 1'',191;\\
e &= 0,354;\\
k &= 22^\circ\ 25';\\
n &= 71\ \ 29;\\
\omega &= 263\ \ 10;\\
E &= 1815\ \text{März}\ 14;\\
T &= 43,34\ \text{Jahre};
\end{aligned}
$$

Bewegung direct.

Nr. 74. Sehr schwer als getrennt zu unterscheiden, da die Distanz so klein ist. Die Umlaufszeit ist gegen 600 Jahre.

Nr. 75. μ Bootis. Beide weifs.

Nr. 76. δ Serpentis. Schön glänzend, grofser gelb, kleiner graublau. Positionsänderung 30° in 53 Jahren.

Nr. 77. ζ Coronae bor. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 78. γ Coronae bor. Der gröfsere grünlichweifs, der kleine purpurfarben. Seit 1826, wo ihn Struve zuerst beobachtete, nähert er sich dem Hauptstern von 2″ bis 0″,5, und 1833 erschienen beide nur als ein einziger länglicher Stern, doch waren auch hier noch beide Farben deutlich zu erkennen. Im J. 1835 erschien er durchaus einfach; 1836 zeigte er wieder eine längliche Form.

Nr. 79. ξ Librae. Ein dreifacher Stern, der 5ten, 6ten und 7ten Gröfse, die beiden ersten gelblich, der letzte bläulich. Die Positionsänderungen sind bedeutend. Abstand der Begleiter von dem Hauptstern 1″,1 und 7″,6. In nahe 4,5 Minuten Entfernung steht ein anderer sehr kenntlicher Doppelstern, der selbst bei starken Vergröfserungen mit ξ Librae gleichzeitig beobachtet werden kann. Vielleicht stehn beide Systeme in einem physischen Zusammenhange.

Nr. 80. β Scorpii. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 81. $\varkappa$ Herculis. Beide gelb. Die Position scheint sich sehr langsam, die Distanz aber schnell zu ändern, in 133 Jahren nämlich um 25 Secunden.

Nr. 82. 49 Serpentis. Beide weifs.

Nr. 83. σ Coronae bor. Der grofse gelblich, der kleine bläulich. Mädler hat für diesen Doppelstern folgende Elemente gegeben:

$$\begin{aligned} a &= 2'',928; \\ e &= 0,577; \\ n &= 129^\circ 22'; \\ k &= \ \ 39\ 49; \\ \omega &= \ \ 16\ 43; \\ E &= 1836 \text{ Sept. } 26; \\ T &= 199,95 \text{ Jahre}; \end{aligned}$$

Bewegung direct.

Nr. 84. υ Coronae bor. Ist eigentlich ein dreifacher Stern.

Nr. 85. γ Herculis. Groſser weiſs, kleiner blau.

Nr. 86. λ Ophiuchi. Der groſse gelb, der kleine bläulich. Die Bahn scheint nahe kreisförmig zu seyn. Die Umlaufszeit ist nahe 40 Jahre.

Nr. 87. ζ Herculis. Dieser Doppelstern hat schon zweimal die Erscheinung der Bedeckung eines Fixsterns durch einen andern gegeben, nämlich im J. 1802 und in der Zeit von 1828 bis 31. Der groſse gelb, der kleine röthlich. Mädler fand eine genäherte Umlaufszeit von 36 Jahren.

Nr. 88. 43 Herculis. Der groſse stark roth, der kleine bläulich.

Nr. 89. 210 Herculis. Der groſse gelb, der kleine tiefblau. Seit 1829, wo er zuerst bemerkt wurde, bis 1836 hat sich seine Position um 11 Grade geändert.

Nr. 90. μ Draconis. Zwei weiſse Sterne von nahe gleichem Glanze. Positionsänderung 30° in 55 Jahren.

Nr. 91. α Herculis. Der groſse glänzend röthlichgelb, der kleine ausgesprochen tiefblau. Der kleine ist von der 5ten zur 7ten Gröſse veränderlich, und dieses scheint auch, obschon in geringerem Maſse, von dem gröſsern zu gelten. Eine Positionsänderung hat man noch nicht bemerkt.

Nr. 92. δ Herculis. Der groſse glänzend grün, der kleine weiſsgrau. Die Distanz ist in 55 Jahren von 34″ auf 25″ herabgesunken, und die Position hat um 12 Grade zugenommen.

Nr. 93. Anonyma. Groſser weiſs, kleiner blau.

Nr. 94. τ Ophiuchi. Beide gelb. Der ältere Herschel hat ihn als länglich bezeichnet, Struve fand ihn anfangs ganz einfach, und erst 1827 länglich; 1835 berührten sich beide Scheibchen, 1836 aber trennten sie sich deutlich. Die Umlaufszeit ist nahe 85 Jahre.

Nr. 95. 95 Herculis. Beide an Glanz gleich, der eine grüngelb, der andere schön roth.

Nr. 96. 70 p Ophiuchi. Groſser gelb, kleiner purpurfarbig. In 58 Jahren hat er schon 323° durchlaufen. Mädler fand folgende Elemente dieses Doppelsterns:

$a = 4'',316;$
$e = 0,477;$
$k = 133^\circ\ 47';$
$n = 42\ \ 52;$
$\omega = 153\ \ 27;$
$E = 1806$ Sept. 30;
$T = 80,61$ Jahre;
Bewegung retrograd.

Nr. 97. α Serpentis. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 98. Anonyma. Dieses merkwürdige Sternpaar ist von einem schwachen elliptischen Nebel umgeben. Die Sterne nehmen die beiden Brennpuncte der Ellipse ein. Keiner der benachbarten Sterne zeigt eine Spur von Nebelhülle, so dafs hier wohl Sterne und Nebel zusammen gehören.

Nr. 99. α Lyrae. Dieser Doppelstern ist wahrscheinlich nicht physisch, sondern nur optisch doppelt[1].

Nr. 100. ε Lyrae. Eigentlich ein doppelter Doppelstern oder wahrscheinlich ein System von zwei zusammengehörenden Doppelsternen. Das erste Paar gehört zu Rectasc. $= 18^h\ 38'\ 36''$, Poldist. $= 50^\circ\ 30'$ und das zweite Paar zu Rectasc. $18^h\ 38'\ 36''$, Poldist. $= 50^\circ\ 34'$. Sie werden selbst in stark vergröfsernden Fernröhren (also mit geringem Sehfeld) zu gleicher Zeit gesehn. Bei dem nördlichen Paar (oder ε Lyrae) ist der grofse grünlich und der 5ten Gröfse, der kleine aber blauweifs und der 6ten Gröfse. Ihre Distanz ist $3''$ und die Position hat sich in 57 Jahren um 9° geändert, was auf eine 2000jährige Umlaufszeit deutet. Bei dem südlichen Paare (oder 5 Lyrae) beträgt der Abstand ebenfalls $3''$, aber die Veränderung der Position in 57 Jahren volle 19 Grade, was eine nahe 1000jährige Umlaufszeit erwarten läfst. Hier sind beide glänzend weifs und auch beide nahe gleich grofs, nämlich der 5ten Gröfse. Haben beide Systeme aufserdem noch eine gemeinsame Bewegung um ihren Schwerpunct, so kann die Periode derselben nicht wohl unter einer Million Jahre seyn.

Nr. 101. ζ Lyrae. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 102. β Lyrae. Eigentlich ein vierfacher Stern.

---

1 Vergl. oben C am Ende.

Nr. 103. o Draconis. Der grofse glänzend gelb, der kleine aschgrau. In 55 Jahren hat sich die Distanz um 4″ und die Position um 15° geändert.

Nr. 104. Θ Serpentis. Beide gelblich.

Nr. 105. η Lyrae. Der kleine blau.

Nr. 106. Θ Lyrae. Der grofse weifs, der kleine blau.

Nr. 107. Anonyma. Beide bläulich.

Nr. 108. β Cygni. Grofser gelb, kleiner blau; ein scharfbegrenztes Bild.

Nr. 109. δ Cygni. Im Jahre 1783 erschien er einfach, jetzt deutlich doppelt.

Nr. 110. ψ Cygni. Die jährliche Positionsänderung ist 0,7 Grad. Grofser weifs, kleiner grau.

Nr. 111. ζ Sagittae. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 112. Anonyma. Auf dieser Stelle sind vier Doppelsterne nahe beisammen. Wenn der schönste oder nördlichste in den untern Theil des Feldes gebracht wird, so erscheinen alle vier zugleich im Fernrohr.

Nr. 113. Anonyma. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 114. ρ Capricorni. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 115. γ Delphini. Der grofse goldgelb, der kleine blaugrün, beide Farben ausgezeichnet schön. Sonderbar, dafs sie von Herschel d. ält. beide als weifs bezeichnet wurden. Distanz und Position scheinen sich nicht zu ändern.

Nr. 116. ε Equulei. Herschel d. ält. gab ihn als doppelt, Struve aber, durch Zerlegung des Hauptsterns, als dreifach an. Der grofse gelb, der kleine nahe gelblich, der kleine entfernte grauweifs. Abstand der beiden ersten 0″,4, des letztern 11″.

Nr. 117. 61 Cygni. Ueber diesen wichtigen Doppelstern ist bereits oben gesprochen worden. Wir kennen ihn seit 1753, wo ihn Bradley zuerst beobachtete. Beide Sterne sind goldgelb.

Nr. 118. β Cephei. Grofser weifs, kleiner blau.

Nr. 119. μ Cygni. Ebenso.

Nr. 120. Anonyma. Ebenso.

Nr. 121. Anonyma. Ebenso.

Nr. 122. Anonyma. Erst Struve erkannte 1832 diesen Doppelstern durch Zerlegung des *Nebensterns* als dreifach. Alle

drei Sterne sind sehr weiſs, die beiden Nebensterne sind nur 0″,5 von einander entfernt.

Nr. 123. ζ Aquarii. Beide Sterne weiſs mit mattgrünlichem Schimmer. Positionsänderung 26° in 55 Jahren.

Nr. 124. 18 Honores Friderici. Der gröſsere schön goldfarben, ins Rosenrothe spielend, der kleinere aschgrau.

Nr. 125. 107 Aquarii. Groſser weiſs, kleiner blau.

Nr. 126. σ Cassiopeiae. Groſser weiſs, kleiner blau, eine Miniatur von ε Bootis.

Nr. 127. Anonyma. Struve erkannte 1828 diesen Doppelstern durch Zerlegung des Hauptsterns als einen dreifachen. Die beiden Hauptsterne sind nur 0″,5 von einander entfernt, der dritte aber 20″ von dem ersten.

Nr. 128. Anonyma. Beide gelblich. In den letzten 54 Jahren ist der Nebenstern um nahe 180° um den Hauptstern vorgerückt. Mädler fand für ihn folgende Elemente:

$$
\begin{aligned}
a &= 1'',003; \\
e &= 0,532; \\
k &= 125^\circ\ 10'; \\
n &= 25\ \ 32; \\
\omega &= 36\ \ 32; \\
E &= 1837 \text{ Juni } 4; \\
T &= 84,51 \text{ Jahre}; \\
&\text{Bewegung direct.}
\end{aligned}
$$

In diesem Systeme beträgt also der mittlere Abstand nur eine Secunde, während die Umlaufszeit der des Uranus gleicht. Setzt man die Masse beider Sterne der Sonnenmasse gleich, so wird die Entfernung derselben von uns gleich 3600000 Erdbahnhalbmessern, und das Licht braucht 55 Jahre, um von jenem Systeme bis zu uns zu gelangen.

Die vorhergehenden Sterne sind sämmtlich aus den ersten Classen genommen, wo die beiden Sterne einander sehr nahe stehn. Struve theilte nämlich die sämmtlichen Doppelsterne, nach ihren Distanzen von einander, in 8 Classen, wie folgende kleine Tafel zeigt.

Classe	Distanzen
I . . .	von 0 bis 1″;
II . . .	— 1 — 2;
III . . .	— 2 — 4;
IV . . .	— 4 — 8;
V . . .	— 8 — 12;
VI . . .	— 12 — 16;
VII . . .	— 16 — 24;
VIII . . .	— 24 — 32.

In seinem bereits oben erwähnten Werke[1] zählt er 2787 solcher vielfacher Sterne auf, deren jeder wenigstens viermal vollständig gemessen und nach Gröſse und Farbe bestimmt ist. In der ersten Classe fand er 91 Doppelsterne, in der zweiten 314, in der dritten 535, in der vierten 582, in der fünften 352 u. s. w. Wollte man annehmen, daſs alle oder doch bei weitem die meisten Doppelsterne nur *optisch*, also gleichsam zufällig sind, so müſsten sich diese Doppelsterne unter den Sternen aller Gröſsen gleich häufig zeigen. Das ist aber keineswegs der Fall. Struve fand nämlich unter den Sternen

der 1. bis 3.	Gröſse	unter	100	nur	18	doppelte;
– 4. — 5.	—	—	—	—	13	—
– 6. — 7.	—	—	—	—	8	—
– 8. — 9.	—	—	—	—	3	—

Dieser Unterschied zeigt, daſs wenigstens bei den Sternen von der 1. bis 7. Gröſse die meisten Doppelsterne nicht *optisch*, sondern wahrhaft *physisch* verbunden sind. Struve hat mit Hülfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung diesen Gegenstand näher untersucht, und folgende Resultate gefunden. Wenn man bloſs diejenigen Doppelsterne betrachtet, wo der Nebenstern selbst zu den gröſseren oder helleren (also zu der 1., 2., 3. bis 7. Gröſse) gehört, so müssen, jener Rechnung zufolge, von je 100 wirklich beobachteten Doppelsternen

---

1 Mensurae Stellarum duplicium. Petrop. 1837.

der	I. Classe	alle	100	physisch	seyn,	
-	II. —	—	100	—	—	
-	III. —	—	100	—	—	
-	IV. —	—	98	—	—	
-	V. —	—	92	—	—	
-	VI. —	-	90	—	—	
-	VII. —	—	72	—	—	u. s. w.

Bei denjenigen Doppelsternen, wo der Nebenstern noch kleiner als der 7ten Gröfse ist, müssen von je hundert beobachteten Doppelsternen dieser Art in der

I.	Classe	wieder	alle 100	physisch	seyn,	
II.	—	—	— 99	—	—	
III.	—	—	— 97	—	—	
IV.	—	—	— 89	—	—	
V.	—	—	— 73	—	—	
VI.	—	—	— 38	—	—	u. s. w.

Es ist also mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dafs besonders in den höhern Classen beinahe alle beobachtete Doppelsterne nicht optische (wegen ihrer Lage gegen uns als blofs nahe stehend erscheinende), sondern dafs sie in der That wahre oder physisch verbundene, zu einem gemeinschaftlichen Systeme gehörende Sterne sind. Noch viel mehr aber wird dieses Resultat dadurch bestätigt, dafs von beinahe allen diesen beobachteten Doppelsternen immer der eine sich um den andern bewegt, und dafs sie auch überdiefs eine gemeinschaftliche Fortrückungsbewegung (den sogenannten *motum proprium*) im Himmelsraume haben. Unter den 560 Sternen, die Argelander in Bezug auf diese *eigene Bewegung* untersucht hat (s. G zu Ende), kommen 53 von Struve beobachtete Doppelsterne vor, von welchen 41 auch schon durch Herschel d. ält. gesehn worden sind. Von diesen 41 Doppelsternen haben nun 40 eine gemeinschaftliche (oder gleich grofse) eigene Bewegung bei jedem der zwei Sterne, und nur einer (δ Equulei) macht eine Ausnahme davon, so dafs also nur dieser eine von 41 als ein blofs optischer Doppelstern anzusehn ist. Dasselbe Resultat, der bei weitem gröfseren Anzahl der physischen Doppelsterne, scheint auch noch für diejenigen Sterne zu gelten, die über die achte Classe hinaus, mehr als 32 Sec. von einander entfernt sind. Struve, der auch dieses mit Hülfe der Probabilitätsrechnung untersuchte, fand, dafs selbst bis zu

der Distanz von 5 Raumminuten der physische Zusammenhang noch immer viel häufiger ist, als der optische, und dasselbe soll sich auch bei den doppelten Sternpaaren finden, wo die einzelnen Paare von einander bis auf 10 Minuten abstehn, insofern sie ihrer Natur nach zusammengehörende Doppelsternpaare sind, die wieder um andere Paare kreisen, und gleichsam Partialgruppen in dem allgemeinen Heere des Fixsternhimmels darstellen, wohin auch wahrscheinlich die Pleiaden, die Krippe, das Haar der Berenice u. a. dichtere, schon dem freien Auge sichtbare Sammlungen von Sternen gehören.

Es ist gewifs in hohem Grade merkwürdig, dafs von allen diesen wunderbaren Gegenständen des Himmels diejenigen, welche wir bisher näher untersuchen konnten, ohne Ausnahme für die Gültigkeit des Newton'schen Attractionsgesetzes auch in jenen fernen Räumen sprechen, so dafs dasselbe wahrscheinlich das allgemeine Gesetz der ganzen Natur seyn mag. Dieses Gesetz hat, wie auch schon Newton bemerkte, die wichtige Eigenthümlichkeit, dafs unter seiner Einwirkung die Anziehung einer auch noch so grofsen Kugel auf einen aufser ihr liegenden Punct dieselbe ist, als wenn die Masse dieser ganzen Kugel in ihrem Mittelpuncte vereinigt, auf einen einzigen Punct reducirt worden wäre. Da aber beinahe alle Himmelskörper, so weit uns dieselben bekannt geworden sind, sehr nahe die Kugelgestalt haben, so werden dadurch nicht nur ihre Bewegungen um einander, sondern auch die Berechnungen derselben ungemein erleichtert, indem es uns, in jener Voraussetzung, erlaubt ist, alle Himmelskörper nur als ebenso viele einfache Puncte zu betrachten. Wenn sie die Form von Würfeln, Cylindern oder Kegeln hätten, so würde, bei dem gegenwärtigen Zustande unserer Analysis, alle Berechnung derselben so gut als unmöglich seyn. Es war daher eine wichtige und interessante Frage, ob diese Anziehung der Kugeln auch noch bei einem anderen Gesetze, als dem für Kugeln gültigen, statt haben kann. Man findet[1], dafs alle Gesetze der Attraction, für welche eine Kugel auf einen äufsern Punct so wirkt, als ob ihre Masse in dem Mittelpuncte der Kugel vereinigt wäre, in dem Ausdrucke enthalten sind

1 S. Littrow's theor. u. pract. Astronomie. Th. III. Wien 1827. S. 214.

$$\frac{A}{r^2} + Br,$$

wo r die Entfernung des Puncts von dem Mittelpuncte der Kugel und wo A und B constante Gröſsen bezeichnen. Setzt man die Gröſse B gleich Null, so hat man wieder das oben erwähnte Gesetz der Natur, so daſs demnach von allen den unzähligen Gesetzen, welche die Attraction für groſse Distanzen sehr klein geben (und nur solche sind für die himmlischen Bewegungen anwendbar), das der Natur das einzige ist, für welches die Kugeln die oben erwähnte Eigenschaft haben. Dasselbe Naturgesetz scheint auch noch eine andere sehr merkwürdige Eigenschaft vor allen übrigen Gesetzen ausschlieſsend zu besitzen, daſs nämlich nur bei ihm unser Planetensystem eine dem gegenwärtigen Zustande desselben ganz ähnliche Gestalt beibehalten würde, wenn auch der Maſsstab desselben in allen seinen Theilen verhältniſsmäſsig geändert würde und wenn z. B. die Massen und die Distanzen aller dieses System constituirenden Körper auf ihren hundertsten oder tausendsten Theil herabgebracht würden. Allein jene Rechnungen beziehn sich nur auf die Bewegung der einen Sonne um die andere, und sie sind daher im Allgemeinen ganz dieselben, durch welche wir, in unserm System, die Bewegung eines Planeten um die Sonne bestimmen. Jene Doppelsonnen aber sind ohne Zweifel auch von planeten- oder kometenähnlichen Körpern umgeben, und von diesen letzteren wird die Berechnung ihrer Bewegungen eine ganz andere und viel zusammengesetztere seyn. Wenn nämlich ein Körper sich um einen andern Centralkörper nach dem Newton'schen Gesetze bewegt, so beschreibt jener, wie bekannt, einen Kegelschnitt, in dessen einem Brennpuncte der Centralkörper liegt. Nehmen wir z. B. an, daſs unsere Erde in ihrem Perihel entstanden wäre, so würde die jährliche Bahn derselben eine Hyperbel, eine Ellipse oder eine Parabel geworden seyn, jenachdem die anfängliche Geschwindigkeit der Erde in der ersten Secunde gröſser, kleiner oder genau ebenso groſs, als 5,853 geogr. Meilen gewesen wäre. Für eine Geschwindigkeit von 4,138 Meilen würde diese Erdbahn vollkommen kreisförmig geworden seyn. Allein den Beobachtungen zufolge beträgt die wirkliche Geschwindigkeit derselben im Perihel 4,113 Meilen, so daſs also, nach dem Vorhergehenden, die Erdbahn eine Ellipse und zwar eine von dem Kreise nur sehr wenig verschiedene El-

lipse werden mufste, wie dieses auch den Beobachtungen vollkommen gemäfs ist.

So lange also nur ein einziger Centralkörper da ist, wie in unserem Sonnensysteme, um den sich alle übrige Himmelskörper bewegen, so sind die Bahnen dieser letzten einfache krumme Linien der zweiten Ordnung oder sogenannte Kegelschnitte. Aber ganz anders verhält sich die Sache, wenn ein solches Planetensystem, wie bei den Doppelsternen, zwei Sonnen hat, um welche sich, als um zwei Centralkörper, alle übrigen Körper eines solchen Systems bewegen. Hier werden nicht mehr so einfache, sondern vielmehr sehr zusammengesetzte krumme Linien von doppelter Krümmung beschrieben, deren Bestimmung den Astronomen jener Systeme, wenn sie solche haben, ganz andere Schwierigkeiten darbietet, als uns die Erscheinungen unseres Systems, obschon an der Entwickelung der letzten die scharfsinnigsten Gröfsen aller Zeiten und Länder sich abgemüht haben. Einen Anfang zu diesen Untersuchungen findet man in Legendre's Exercices du calcul intégral Vol. II, aus denen wir hier nur einige der vorzüglichsten Züge kurz mittheilen, und dabei voraussetzen, dafs jede dieser zwei Sonnen auf ihren Planeten nur nach dem verkehrten Verhältnifs des Quadrats ihrer Entfernungen wirke, weil sonst, bei anderen Annahmen über das Gesetz der Attraction, die Complication des Gegenstandes noch viel gröfser wird.

Setzen wir also zuerst voraus, dafs die anziehende Kraft, d. h. dafs die Masse der beiden Sonnen gleich grofs ist. In diesem einfachsten Falle beschreiben die Planeten, wie bei uns, wieder Ellipsen, in deren zwei Brennpuncten jene beiden Sonnen liegen. Aber diese Ellipsen werden nicht auf die Weise, wie in unserem Systeme, beschrieben, wo nämlich die Geschwindigkeit im Perihel am gröfsten und im Aphel am kleinsten ist, und wo sie zwischen diesen beiden extremen Puncten allmälig ab- oder zunimmt. Bei denjenigen Ellipsen, welche die Planeten der Doppelsterne beschreiben, ist die Geschwindigkeit an den beiden Endpuncten A und A' der grofsen Axe gleich grofs, so wie auch an den beiden Endpuncten B und B' der kleinen Axe, obschon sie hier kleiner ist, als dort. Wenn überdiefs bei uns jede Hälfte AB'A' und A'BA der Ellipse in derselben Zeit zurückgelegt wird, so sind dort auch Fig. 156.

die Zeiten durch die vier Quadranten AB', B'A', A'B und BA unter einander gleich.

Ganz anders verhält sich die Sache, wenn zwar die beiden Kräfte der zwei Sonnen noch gleich groſs, wie zuvor, aber entgegengesetzt sind, so daſs z. B. die eine Sonne den Planeten ebenso anzieht, als ihn die andere abstöſst. Auch dann beschreibt wohl der Planet noch eine Ellipse, deren Brennpuncte von den zwei Sonnen eingenommen werden, aber die Geschwindigkeit desselben nimmt von dem Puncte A, wo sie am gröſsten ist, ab und verschwindet dann völlig in dem Puncte B'. Hier steht er einen Augenblick still und geht dann durch denselben elliptischen Quadranten B'A, in welchem er gekommen ist, wieder zurück, erhält seine gröſste Geschwindigkeit in A, und geht dann immer langsamer durch den Bogen AB, bis seine Geschwindigkeit in dem Puncte B wieder völlig verschwindet, wo er dann wieder durch den Bogen BAB' wie zuvor geht und gleich einem Pendel in diesem Bogen auf und ab oscillirt, ohne je in die andere Hälfte B'A'B der Ellipse zu gelangen. Es ist nicht unwahrscheinlich, daſs dieser Fall bei den Doppelsternen öfter vorkommen mag, da er mehr, als alle andere, geeignet ist, Collisionen zwischen den verschiedenen Planeten eines Systems zu vermeiden.

Unter bestimmten andern Verhältnissen der beiden Kräfte und der ursprünglichen Geschwindigkeiten der Planeten wird eine in Gröſse und Gestalt veränderliche Ellipse beschrieben.
Fig. 157. Wenn z. B. der Planet von dem Puncte A ausgeht, um den Bogen ADB der Ellipse und die entgegengesetzte Hälfte derselben zu durchlaufen, so kommt er am Ende dieses Laufes nicht wieder in dem Anfangspuncte A, sondern in einem andern Puncte A' der verlängerten groſsen Axe BA an, und am Ende des dritten Umlaufs wieder in einem andern Puncte A'', bis er endlich auf diese Art zu den beiden Grenzpuncten A_1 und B_1 gelangt, von wo er wieder auf seinem vorigen Weg durch die Puncte A'' und A' und A zurückgeht, und in dem letzteren Puncte A neuerdings auf seinen vorigen ersten Weg einlenkt, um so in einem bestimmten Raum AA_1 und BB_1 eine bestimmte Reihe von Revolutionen in immer wachsenden oder abnehmenden Ellipsen zu beschreiben.

Wieder in andern Verhältnissen der beiden Sonnenmassen wird eine Art von in sich selbst zurückkehrender Doppelellipse

beschrieben, wie die Zeichnung sie darstellt. Der Planet geht z. B. von dem Puncte A seiner grofsen Axe durch die Hälfte AaB der kleineren Ellipse, und tritt in B in die grofse Ellipse, deren Hälfte BCD er zurücklegt. Von diesem Puncte D geht er dann durch den Bogen DEBbA wieder zu dem anfänglichen Puncte A zurück, um von da an eine neue Periode seines Umlaufs in zwei Ellipsen zu beginnen. Noch zusammengesetzter erscheint die Planetenbahn, worin drei Ellipsen unter einander verschlungen sind, in welchen der Planet nach der natürlichen Ordnung der Zahlen 1, 2, 3... 13, 14, 1, 2... fortschreitet. Diese Bahn hat vier sogenannte geometrische Knoten, nämlich die ersten beiden in den Puncten 1 und 3, den dritten zwischen 7 und 8, und den vierten zwischen 13 und 14, während die einfachere Bahn der vorhergehenden Figur nur einen einzigen Knoten in B hat. Fig. 158. Fig. 159.

Bisher bestand die Bahn des Planeten immer noch aus elliptischen oder Ellipsen ähnlichen Figuren. Es giebt aber auch Fälle, wo diese Aehnlichkeit mit Ellipsen gänzlich verschwindet. So hat eine Bahn die Gestalt von neben einander liegenden Spiralen, die wechselsweise über und unter der grofsen Axe AB einer Ellipse ACBD liegen, deren Brennpuncte F und G zugleich die Orte der beiden Sonnen bezeichnen. Diese Spiralen berühren in ihren äufsersten Puncten C, D, C′, D′... jene Ellipse, und diese Berührungspuncte nähern sich in immer engeren Zwischenräumen den Puncten A und B der Ellipse, während die Durchschnittspuncte a, 1, 2, 3... ebenfalls in immer engeren Zwischenräumen, aber nur bis zu den beiden Endpuncten F und G fortgehn, doch so, dafs jene ersten Berührungspuncte die Scheitel A, B, und dafs diese Durchschnittspuncte die beiden Brennpuncte F und G der Ellipse erst nach einer unendlichen Anzahl von einzelnen Spiralen der Curve erreichen. Fig. 160.

Eine andere merkwürdige Planetenbahn ist die, wo wieder ADBE die Grenzellipse und F, G ihre Brennpuncte oder die Orte der zwei Sonnen bezeichnen. Der Planet, der von einem Puncte E jener Ellipse ausgeht, durchläuft den Bogen ECmBnCD, und wenn er am Ende dieses Wegs in dem andern Puncte D der Ellipse ankommt, geht er von da auf demselben Wege DCnB... wieder zurück nach E, um von diesem Puncte E aus eine zweite Periode seiner Bewegung zu be- Fig. 161.

ginnen. Die Geschwindigkeit des Planeten ist in dem Puncte B am gröſsten, in den beiden äuſsersten Puncten D und E aber ist sie gleich Null. Endlich giebt es noch den einfachen Fall, wo der Planet in dem Bogen CMD eine Hyperbel beschreibt, deren Scheitel M in der groſsen Axe AB der Ellipse ACBD liegt, durch welche jener hyperbolische Bogen begrenzt wird. Hier ist die Geschwindigkeit des Planeten in M am gröſsten, während sie in den beiden Endpuncten C und D seiner Bahn verschwindet.

Fig. 162.

So mannigfaltig sind also die Gestalten der Planetenbahnen, wenn *zwei* Sonnen auf sie wirken, selbst wenn man, wie hier geschehn ist, alle Curven von doppelter Krümmung, und auch unter den ebenen Curven noch alle diejenigen ausschlieſst, welche ins Unendliche fortgehende Aeste haben, und wenn man endlich noch voraussetzt, daſs für die Attractionen dieser Sonnen nur das Newton'sche Gesetz Geltung habe. Man sieht von selbst, daſs ohne diese Beschränkungen die Anzahl und die Verschiedenheit der hier vorkommenden Fälle noch viel gröſser, ja wahrhaft unendlich groſs wird. Aber welche noch viel weiter gehenden Mannigfaltigkeiten hat sich die Natur erst bei jenen Systemen vorbehalten, wo nicht bloſs zwei, sondern drei, vier und mehr Sonnen zugleich in einem Systeme herrschen, oder wo, wie in den oben erwähnten Sterngruppen, selbst Tausende von Sonnen sich in die Herrschaft über die ihnen unterworfenen Planeten theilen. Welche Kraft des Geistes und der mathematischen Analyse wird erfordert werden, um die so wunderbar verschlungenen Bewegungen der Körper dieser Systeme zu entwickeln!

Noch haben wir eine merkwürdige Eigenschaft der Doppelsterne zu erwähnen, die selbst schon bei dem ersten Anblick derselben zu augenfällig ist, um hier übergangen zu werden. Unter den einfachen Fixsternen sieht man gewöhnlich nur solche, die in einem weiſslichen Lichte glänzen, das sich dem Gelben und zuweilen dem Rothen etwas nähert. Allein *blaue* oder *grüne* Sterne hat man, unter den einfachen Sternen bisher noch nicht gesehn. Nicht so bei den doppelten und vielfachen Sternen, wo diese letzten Farben sogar die vorherrschenden sind. So ist bei α Herkules und bei η Cassiopeia der groſse roth und der kleine grün; bei ζ Orion, ι Cancer,

β Cygnus ist der grofse gelb und der kleine blau; bei λ Aries, ε Perseus, β Orion, α Leo ist der grofse weifs, der kleine blau; bei δ Serpens, ν Draco, so wie bei 28 und 59 Andromeda sind beide Sterne blau; bei γ Andromeda ist der grofse orange und der kleine smaragdgrün; bei δ Orion ist der grofse weifs und der kleine purpurroth; bei ε Einhorn ist der grofse gelb und der kleine blutroth; bei κ Argo ist umgekehrt der grofse blau und der kleine dunkelroth u. s. w. Welchen Anblick mag in jenem Systeme der Himmel gewähren, der von zwei Sonnen mit so verschiedenen Farben beleuchtet wird! Wie ganz anders würde dieser Anblick des Himmels und der Erde in unserm eignen Systeme seyn, wenn unsere Sonne, wie man früher allgemein glaubte, blofs ihr weifses Licht hätte, und wenn dieses Licht nicht aus so vielen andern von verschiedenen Farben zusammengesetzt wäre! Die ganze Oberfläche der Erde würde uns *farblos* erscheinen, oder vielmehr alle Gegenstände um uns würden in einer düsteren Bleifarbe zu trauern scheinen, und unsere Häuser, unsere Gärten, Wiesen und Wälder, ja der ganze Himmel selbst würde uns keine gröfsere Abwechselung der Farben darbieten, als etwa unsere Kupferstiche, mit welchen wir jene Gegenstände darzustellen suchen. Der jetzt so schön gefärbte Regenbogen würde als ein einfacher weifser Lichtkreis erscheinen; die Fixsterne würden matt vom grauen Himmel blicken und der rosige Vorhang der Morgen- und Abendröthe würde gleich der Decke unserer trüben Wintertage seyn; das jugendliche Grün der Wiesen und Gärten im Frühling würde in das welkende Blafsgelb des Herbstes übergehn; der Diamant würde nicht mehr in dem Kranze der Schönheit und in dem Diadem der Fürsten strahlen, und selbst die feinen Züge des menschlichen Angesichtes, diese Verräther der innersten Gefühle, würden weder mit dem Rosenlichte der Jugendblüthe prangen, noch selbst jene krankhafte Röthe annehmen können, die der verrätherische Vorbote der Auflösung und der oft willkommenen Befreiung von dem schlaflosen Lager des Schmerzes zu seyn pflegt.

Wenn wir aber dieses wunderbare Farbenspiel der Natur schon dieser einzigen Sonne verdanken, welch ein Schauspiel würde uns erwarten, wenn wir durch irgend eine höhere Macht auf einen Planeten jener Doppelsonnen versetzt wären! Eine rothe Sonne erhebt sich über den Horizont des erstaunten Be-

obachters, und Erde und Himmel glänzen in ihrem Purpurlichte. In wenig Stunden folgt ihr eine andere, eine blaue, eine grüne Sonne, und mit ihr verändert sich plötzlich die ganze Natur. Neue Welten scheinen sich mit diesen neuen Sonnen vor unseren Blicken zu erheben, Erd' und Himmel in stetem Wechsel immer neue Gestalten und Farben anzunehmen, und inmitten aller dieser Umwandlungen können wir den uns von allen Seiten umgebenden Proteus, können wir uns selbst nicht mehr erkennen. Nicht mehr würden wir, wie bisher, die Gegenstände um uns her durch ihre Farben unterscheiden, da alle abwechselnd in allen Farben erscheinen würden, und der Himmel nicht mehr blau, die Wiesen nicht mehr grün, der Schnee nicht mehr weiſs seyn, da jeder Gegenstand, je nach der Tageszeit, in allen Farben des Regenbogens spielen würde.

Bemerken wir zum Schlusse dieser Betrachtungen noch, daſs man die Doppelsterne als die vorzüglichsten Mittel zur Prüfung der Fernröhre vorgeschlagen hat. Da in der That die meisten derselben als sehr scharf begrenzte, hellleuchtende Puncte an dem schwarzen Hintergrunde des Himmels erscheinen, so sind sie sehr geeignet, zu untersuchen, ob die von ihnen auf das Objectiv eines Fernrohrs gesendeten Lichtstrahlen wieder in zwei ebenso scharf begrenzte Puncte in dem Brennpuncte dieses Instruments vereinigt werden. Dazu kommt noch, daſs, wenn beide Sterne groſs und hell sind und überdieſs sehr nahe an einander stehn, das sie in schlechteren Fernröhren gewöhnlich umgebende parasitische Licht ihre Duplicität nicht mehr gut erkennen läſst, und daſs daher das reine Hervortreten dieser Duplicität im Fernrohre der beste Beweis für die Abwesenheit jener so schädlichen Irradiation des Lichtes ist. Solche Doppelsterne sind z. B. α Zwillinge, γ Jungfrau, ξ groſser Bär und mehrere andere. Sind aber im Gegentheile beide Sterne, oder auch nur einer derselben, sehr klein, so wird wieder eine beträchtliche Lichtstärke und eine groſse raumdurchdringende Kraft des Fernrohrs, wie sie Herschel nannte, erforderlich seyn, um so feine und lichtschwache Puncte noch deutlich zu erkennen. Wir theilen daher einige dieser Doppelsterne zur Prüfung der Fernröhre verschiedener Arten hier mit.

Sehr leicht und schon durch gewöhnliche achromatische

Fernröhre von etwa zwei Fuſs Focallänge und zwei Zoll Oeffnung lassen sich die folgenden Doppelsterne erkennen:

ζ Ursae majoris. Distanz $\Delta = 14''$ und scheinbare Gröſse III und IV.
γ Andromedae. $\Delta = 11''$; Gröſse III, V.
Θ Serpentis. $\Delta = 22''$; Gröſse IV, IV.
ϰ Herculis. $\Delta = 31''$; Gröſse V, VI.
ζ Lyrae. $\Delta = 44''$; Gröſse III, IV.

Schon stärkere Fernröhre, etwa von 4 Fuſs Brennweite und 3 bis 4 Zoll Oeffnung, erfordern die folgenden:

α Geminorum. $\Delta = 5''$; Gröſse III, IV.
π Bootis. $\Delta = 7''$; Gröſse V, VI.
ι Trianguli. $\Delta = 4''$; Gröſse V, VI.
ζ Cancri. $\Delta = 6''$; Gröſse V, VI.
ω Piscium. $\Delta = 6''$; Gröſse VII, VII.
α Ursae minoris oder der Polarstern.
$\Delta = 19''$, Gröſse II, XI.

Fernröhre der besten Art werden für die folgenden Doppelsterne erfordert:

γ Virginis. $\Delta = 3''$; Gröſse III, III.
η Herculis. $\Delta = 2''$; Gröſse IV, VIII.
ε Bootis. $\Delta = 2''$; Gröſse VI, VI.
ω Leonis. $\Delta = 1''$; Gröſse VI, VII.
β Orionis (Rigel). $\Delta = 9''$; Gröſse I, X.
η Pleiadum (Atlas). $\Delta = 1''$; Gröſse V, XII.
η Coronae. $\Delta = 1''$; Gröſse V, VI.
γ Coronae. $\Delta = 2''$; Gröſse IV, VII.
σ Coronae. $\Delta = 1''$; Gröſse V, VII.

Als vorzüglich feine und nur durch ausgezeichnete Fernröhre erkennbare Doppelsterne können endlich die zwei folgenden gelten:

bei β Capricorni, $A = 302^\circ\ 45'$; $D = 15^\circ\ 19'$ südl.; Distanz $\Delta = 3''$; Gröſse XVII, XVIII.
bei β Equulei, $A = 318^\circ\ 30'$; $D = 6^\circ\ 6'$ südl.; Distanz $\Delta = 2''$; Gröſse XIV, XV.

Bei dem letzten ist der Begleiter selbst wieder doppelt. Ein Fernrohr, welches diese zwei Doppelsterne deutlich zeigt, ist,

nach HERSCHEL d. jüng., zu den schwierigsten Untersuchungen geeignet, und nur wenn es diese Prüfung besteht, wird es mit Nutzen auf die zwei innersten Monde Saturns oder auf die äuſserst lichtschwachen Satelliten des Uranus angewendet werden können.

G. Bewegung unseres Sonnensystems im Weltraume.

Es ist bereits oben[1] gesagt worden, daſs die beobachtete Rotation der Sonne um ihre Axe zugleich ein Beweis sey, daſs diese Sonne auch eine progressive Bewegung im Raume haben müsse, und daſs sie in der Bahn, die sie um einen uns noch unbekannten Punct im Weltraume beschreibt, das ganze Heer ihrer Planeten und Kometen mit sich ziehe. Der ältere HERSCHEL suchte zuerst, wenn auch nicht die Gröſse, doch die Richtung dieser Bewegung zu bestimmen, und seiner Ansicht zufolge soll unser Sonnensystem jetzt einen solchen Bogen seiner Bahn beschreiben, dessen Tangente gegen das Sternbild des Herkules gerichtet ist. Es schienen ihm nämlich die Fixsterne, aus welchen dieses Sternbild zusammengesetzt ist, immer weiter aus einander zu treten, während die des Eridanus, die jenem des Herkules diametral gegenüber stehn, näher an einander rücken sollen, was er durch eine Annäherung an jene, also auch durch eine Entfernung von diesen, zu erklären suchte. Wenn man von zwei in der Zeit sehr von einander entfernten Beobachtungen eines Fixsterns die Wirkungen der Präcession, so wie die der Nutation und Aberration, wegnimmt, so sollte man eigentlich die beiden Orte des Sterns für jene zwei Zeiten nicht weiter verschieden finden. Allein dieses ist nicht der Fall, und man muſs daher voraussetzen, daſs jeder Fixstern noch eine *eigene Bewegung* habe, diese mag nun wahr oder auch bloſs scheinbar seyn, in welchem letzten Falle sie eine Folge der Bewegung unseres Sonnensystems seyn könnte, welche Bewegung sich also dann aus jenen Erscheinungen vielleicht ableiten lassen wird. Wenn nämlich jeder Fixstern bloſs seine ihm eigenthümliche Bewegung hat, so muſs man der Wahrscheinlichkeit gemäſs annehmen, daſs diese Bewegungen,

---

1 S. Art. *Sonne*. Bd. VIII. S. 848.

in Beziehung auf ihre Gröſse und Richtung, alle mögliche verschiedene Werthe haben, so daſs sich in ihnen im Allgemeinen nichts Gemeinschaftliches, kein Gesetz zeigen wird, nach welchem sie einhergehn. Wenn aber diese Bewegungen nur scheinbar sind, wenn sie nämlich, als bloſse optische Täuschungen, nur durch die Bewegung unseres Sonnensystems entstehn, so wird sich, wenigstens bei den uns näheren Fixsternen, eine gewisse Uebereinstimmung dieser Bewegungen nachweisen lassen müssen, die aus der Richtung der Bewegung der Sonne entsteht. Allein am wahrscheinlichsten werden diese beiden Fälle zugleich statt haben, oder jeder Fixstern wird, so wie auch unsere Sonne, seine eigene Bewegung haben, und dann werden die von uns beobachteten sogenannten eigenen Bewegungen derselben aus jenen beiden Ursachen entstehn, und das Problem, aus ihnen die Gröſse und Richtung der Bewegung der Sonne herauszufinden, wird dadurch offenbar sehr complicirt, da es uns im Allgemeinen nicht möglich ist, diese beiden Ursachen jener Erscheinung, die eigene Bewegung des Fixsterns und die unserer Sonne, von einander zu trennen.

Diese sogenannte eigene Bewegung (*motus proprius*) der Fixsterne, die also nach dem Vorhergehenden besser die scheinbare Bewegung (*mot. apparens*) derselben heiſsen würde, ist bereits oben[1] besprochen worden. Wir fügen hier nur noch eine kleine Tabelle derjenigen Fixsterne hinzu, deren bisher beobachtete Bewegung sich durch ihre Gröſse auszeichnet.

	Eigene Bewegung während eines Jahrhunderts in Rectascension	in Declination
Θ Ursae majoris . .	164 Raumsec.	61 Sec.
τ Ceti	181 —	92 —
40 Eridani	223 —	339 —
47 Eridani	430 —	83 —
24 Cephei	509 —	3 —
61 Cygni	515 —	312 —
μ Cassiopeiae . . .	571 —	150 —

Um hier kurz die Art anzuzeigen, wie man die Richtung dieser Bewegung unseres Sonnensystems aus jenen beobachteten

1 S. Art. *Fixsterne*. Bd. IV. S. 333.

eigenen Bewegungen der Fixsterne finden könnte, so nehmen wir an, dafs unsere Sonne während eines Jahrhunderts den
Fig. 163. Bogen AA' beschreibe, der hier als eine gerade Linie angenommen werden kann. Sey C ein Stern als unbeweglich gedacht, so wird er von der Sonne oder, was dasselbe ist, von der Erde aus, im Anfange und am Ende jenes Jahrhunderts, in S und in S' am Himmel gesehn werden. Bezeichnet also der Winkel $ACA' = \pi$ die seculäre Parallaxe unseres Systems, ist der Winkel CA'B gleich m, wo B in der Verlängerung des Bogens AA' oder in der Tangente dieses Bogens liegt, setzt man endlich die beiden Distanzen $AA' = a$ und $AC = \varrho$, so hat man

$$\text{Sin. } \pi = \frac{a}{\varrho} \text{ Sin. m},$$

wo π den gröfsten Werth hat, wenn CA' senkrecht auf AB oder wenn $m = 90°$ ist. In dieser Gleichung ist aber a und ϱ unbekannt, so dafs es daher unmöglich ist, aus ihr den absoluten Werth der Parallaxe π zu finden. Sehen wir nun zu, ob sich wenigstens die *Richtung* der Linie AB daraus ableiten läfst.

Zu diesem Zwecke kann man zuerst suchen, ob die Richtungen der Linien AC, A'C, A''C..., welche die scheinbaren Gesichtslinien für die auf einander folgenden Jahrhunderte ausdrücken, alle von einer einzigen geraden Linie AB geschnitten werden, oder nicht.

Bezeichnen α und δ die Rectascension und Declination des Sterns von der Sonne oder von der Erde gesehn, und bezieht man die Lage des Sterns gegen die Sonne auf drei senkrechte Coordinaten x, y, z, von denen x in der Linie der Nachtgleichen und xy in der Ebene des Aequators liegen, so hat man die bekannten Gleichungen

$$x = \varrho \text{ Cos. } \delta \text{ Cos. } \alpha,$$
$$y = \varrho \text{ Cos. } \delta \text{ Sin. } \alpha,$$
$$z = \varrho \text{ Sin. } \delta.$$

Nennt man aber nach hundert Jahren die beobachtete Rectascension und Declination desselben Sterns α' und δ', nachdem sie durch die Praecession auf die erste Epoche zurückgeführt worden sind, und ist $A'C = \varrho'$, so hat man wieder

$$x' = \varrho' \operatorname{Cos.} \delta' \operatorname{Cos.} \alpha',$$
$$y' = \varrho' \operatorname{Cos.} \delta' \operatorname{Sin.} \alpha',$$
$$z' = \varrho' \operatorname{Sin.} \delta',$$

wobei also vorausgesetzt wird, daſs $\alpha \delta$ und $\alpha' \delta'$ bloſs wegen der Bewegung unseres Planetensystems im Weltraume verschieden sind.

Sind nun X, Y und Z die analogen Coordinaten des Punctes B des Himmels, gegen welchen die Bewegung der Sonne gerichtet ist, und legt man durch das Auge des Beobachters und durch jene zwei scheinbaren Orte S und S' des Sterns eine Ebene, so wird diese Ebene auch durch jenen Punct B gehn. Ist daher

$$z = Mx + Ny$$

die Gleichung dieser Ebene, so sind die Bedingungsgleichungen, welche ausdrücken, daſs diese Ebene durch jene zwei Orte des Sterns und durch den Punct B geht, folgende:

$$\left.\begin{aligned} z &= Mx + Ny \\ z' &= Mx' + Ny' \\ Z &= MX + NY \end{aligned}\right\}$$

Eliminirt man aber aus diesen drei Gleichungen die beiden Gröſsen M und N und setzt der Kürze wegen

$$P = \frac{X}{Z} \text{ und } Q = \frac{Y}{Z},$$

so erhält man die Gleichung

$$0 = (x'y - xy') + (y'z - yz')\,P + (xz' - x'z)\,Q \,..\, (\mathrm{I}).$$

Der Aufgabe gemäſs sollen nun alle Sterne nahe denselben Werth von P und Q geben, und da zwei Sterne hinreichen, diese zwei Gröſsen zu bestimmen, so werden dann alle übrigen noch beobachteten Sterne dazu dienen, diese Voraussetzung zu bestätigen oder zu widerlegen. Substituirt man in der Gleichung (I) für x, y.. ihre vorhergehenden Werthe und für δ, δ' ihre Complemente p, p' zu 90° oder ihre Poldistanzen, so erhält man, da $\alpha' - \alpha$ und $p' - p$ sehr kleine Gröſsen sind,

$$P.\ [(p'-p) \operatorname{Sin.} \alpha + (\alpha'-\alpha) \operatorname{Sin.} p \operatorname{Cos.} p \operatorname{Cos.} \alpha]$$
$$-Q.\,[(p'-p) \operatorname{Cos.} \alpha - (\alpha'-\alpha) \operatorname{Sin.} p \operatorname{Cos.} p \operatorname{Sin.} \alpha] - (\alpha'-\alpha) \operatorname{Sin.}^2 p = 0 \ (\mathrm{II}).$$

Kennt man aber auf diese Weise die Gröſsen P und Q, so findet man auch die Rectascension A und die Declination D des Punctes B des Himmels, gegen welchen die Bewegung des Sonnensystems gerichtet ist, durch die Gleichungen

$$\text{Tang. } A = \frac{Q}{P} \text{ und}$$

$$\text{Tang. } D = \frac{\text{Cos. } A}{P} = \frac{\text{Sin. } A}{Q}.$$

Ex. Um den Gebrauch dieser Ausdrücke durch ein Beispiel zu erläutern, so fand man für das Jahr 1760 aus unmittelbaren Beobachtungen von α Aurigae

$$\alpha = 74^\circ\, 44'\, 59'',5;\; p = 44^\circ\, 16'\, 27''5.$$

Bringt man bei diesen Zahlen die Praecession für 42 Jahre oder

$$+\, 46'\, 1'',243 \text{ und } -\, 3'\, 35'',604$$

an, so erhält man für das Jahr 1802

$$\alpha = 75^\circ\, 31'\, 0'',743 \text{ und } p = 44^\circ\, 12'\, 51'',896.$$

Aber in demselben Jahre 1802 wurde wieder aus unmittelbaren Beobachtungen gefunden

$$\alpha' = 75^\circ\, 31'\, 14'',400 \text{ und } p' = 44^\circ\, 13'\, 12'',40.$$

Man hat daher für die zwischen diesen beiden Beobachtungen enthaltenen 42 Jahre

$$\alpha' - \alpha = +\, 13'',657 \text{ und } p' - p = +\, 20'',504.$$

Substituirt man diese Werthe in der Gleichung (II) und setzt im Mittel $\alpha = 75^\circ\, 8'$ und $p = 44^\circ 15'$, so erhält man für die Gleichung (II)

$$20{,}085\, P + 1{,}732\, Q - 6{,}649 = 0.$$

Ebenso fand man

für	α Canis maj.	$49{,}072\, P + 12{,}479\, Q + 16{,}139 = 0$
—	α Canis min.	$40{,}428\, P + 12{,}774\, Q + 28{,}621 = 0$
—	α Bootis . .	$29{,}073\, P - 78{,}312\, Q - 43{,}222 = 0$
—	α Lyrae . .	$12{,}216\, P - 6{,}466\, Q - 1{,}000 = 0.$

Um P und Q mit einiger Sicherheit zu finden, mufs man diejenigen Sterne wählen, deren scheinbare Bewegung am gröfsten ist. Die Summe der Gleichungen für α Canis maj. et min. giebt:

$$89{,}500\, P + 25{,}253\, Q + 44{,}760 = 0,$$

und wenn man diese Gleichung mit der für α Bootis verbindet, so erhält man

$$P = -\, 0{,}31174$$
$$Q = -\, 0{,}66760$$

und sonach für die Rectascension und Declination des Punctes B, nach welchem die Bewegung der Sonne gerichtet seyn soll,

$$A = 244°58'$$
$$D = 53°37',$$

was allerdings von dem durch Herschel angezeigten Orte im Sternbilde des Hercules nicht sehr verschieden ist. Allein die übrigen oben angeführten Sterne gaben für P und Q so wenig unter einander übereinstimmende Werthe, daſs man die ganze Untersuchung wieder fallen lieſs und jene Idee Herschel's als eine nicht oder doch viel zu wenig begründete Hypothese betrachtete[1].

Erst in den neuesten Zeiten hat Argelander diesen Gegenstand wieder vorgenommen ihn mit der ihm gebührenden Aufmerksamkeit genauer untersucht. Er fand, daſs Herschel sehr gut gerathen hatte, wie denn von Männern solcher Art auch bloſse hingeworfene Ideen oft genug schon ihre Bestätigung erst später gefunden haben. Argelander verglich 560 Sterne, und fand als Endresultat seiner wohl unter einander übereinstimmenden Rechnungen mittelst der Methode der kleinsten Quadrate, für den Punct des Himmels, gegen welchen jetzt die Bewegung des Sonnensystems gerichtet ist,

$$A = 259°\,50'\,;\quad D = 32°\,29',$$

so daſs also dieser Punct bei u Herculis zwischen ε und π dieses Sternbildes liegt[2].

H. Veränderliche und neue Sterne.

Auch zu diesen merkwürdigen Gegenständen des Himmels, die schon früher[3] angeführt worden sind, wollen wir hier einige erst in der neuesten Zeit erhaltene Zusätze nachtragen. Die folgende kleine Tafel enthält die vorzüglichsten der bisher beobachteten veränderlichen Sterne. Die Rectascension und Declination derselben gilt für das Jahr 1800; die vierte Columne giebt die Periode oder die Anzahl Tage, nach welchen der Stern wieder zu seinem gröſsten oder kleinsten Lichte gelangt, und die zwei letzten Columnen endlich geben die scheinbaren Gröſsen derselben zur Zeit ihres stärksten und schwächsten

1 Vergl. Berlin. Jahrb. 1787. S. 224 u. 1789. S. 214.
2 S. Astronom. Nachrichten. Nr. 363.
3 S. Art. *Fixsterne.* Bd. IV. S. 341 u. 345.

Lichtes, wo O anzeigt, dafs der Stern zur Zeit seines schwächsten Lichtes gänzlich verschwindet.

Tafel der veränderlichen Sterne.

Namen der Sterne	Rectasc.		Declinat.		Periode in Tagen	Lichtphasen	
						gröfste	kleinste
o Wallfisch (Mira Ceti)	32°	19′	— 3°	53′	331,96	II	0
β Perseus (Algol)	43	48	40	11	2,8673	II	IV
Löwe . . .	144	12	12	21	311,4	V	XIII
Jungfrau . .	187	5	8	5	145,46	VI	0
Hydra . .	199	42	— 22	15	494	III	0
Schlange . .	218	4	15	3	353	VIII	0
Krone . . .	235	5	28	47	335	VI	0
Schlange . .	235	22	15	45	340	V	0
α Herculis .	256	23	13	37	60 oder 7	III	IV
Sobiesk. Schild	279	12	— 4	54	60,6	V	VII
β Leier .	280	41	33	9	6,44	III	V
η Antinous .	295	34	0	30	7,17	IV	V
χ Schwan .	294	43	32	25	407,5	IV	0
δ Cepheus .	335	26	57	24	5,36	III	IV
Wassermann	353	32	— 16	23	382,5	VI	0

Ueber Mira Ceti und Algol ist schon oben (a. a. O.) das Vorzüglichste gesagt worden. Der dritte Stern des obigen Verzeichnisses, im Löwen, wurde zuerst im J. 1780 von Koch als ein veränderlicher erkannt. Die Zunahme seines Lichts dauert 85, die Abnahme aber 140 Tage. Der Stern in der Jungfrau wurde zuerst von Harding als ein veränderlicher erkannt. Den Stern in der Hydra fand Montanari im J. 1672; die zwei in der Schlange des Ophiuchus entdeckte Harding 1828, so wie Pigott den in der Krone im J. 1782. Der letzte zeigt sonderbare Anomalieen in seinem Lichtwechsel, da er oft mehrere Jahre ganz unveränderlich erscheint und dann wieder offenbar seine Lichtstärke wechselt. Den Doppelstern α Herculis erkannte Herschel d. ä. im J. 1795 als veränderlich; die Zunahme seines Lichts dauert 22, die Abnahme 39 Tage. Nach den neuesten Untersuchungen aber kann man seine Erscheinungen besser durch eine Periode von 7 Tagen vorstellen. Die Sterne im Sob. Schild und η Antinous entdeckte Pigott im J. 1784 und 1795; die Sterne β Leier und

δ Cepheus aber Goodrike im J. 1784, und den im Schwan Kirch im 1686, so wie endlich den im Wassermann Harding im J. 1811.

Ohne Zweifel giebt es noch viele andere solche in ihrem Lichte veränderliche Sterne, die aber noch nicht bekannt sind, da ihnen die Astronomen bisher noch nicht die Aufmerksamkeit gewidmet haben, die sie in so hohem Grade verdienen, wie denn auch wohl von den oben angeführten die Epochen und Perioden noch mancher Verbesserungen bedürfen werden [1].

Im Allgemeinen scheinen diese veränderlichen Sterne in folgenden Eigenschaften unter einander überein zu kommen. Ihr Licht ist gewöhnlich röthlich, nach dem gröfsten Glanze meistens kupfer- oder dunkelroth; die Zeit der Zunahme des Lichtes ist ungleich geschwinder, als die der Abnahme; ihre kleinste Lichtphase aber ist gewöhnlich gröfser als ihre gröfste, und endlich scheinen auch die Perioden ihres Lichtwechsels so wie die Intensitäten ihres Lichtes in den verschiedenen Phasen mehrern Aenderungen und Anomalieen unterworfen, von denen wir jetzt noch keinen Grund angeben können.

Ueber die allgemeine Ursache dieses wunderbaren Lichtwechsels hat man verschiedene Muthmafsungen aufgestellt. Wir geben sie hier kurz an, ohne über ihren Werth entscheiden zu wollen. Einige glauben, dafs diese Sterne, gleich unserer Sonne, eine Rotation um ihre Axe haben, und an einer Seite lichtlos oder doch mit mehrern dunklen Flecken bedeckt sind, wo sie uns dann weniger sichtbar oder ganz unsichtbar werden, wenn sie uns diese Seiten zuwenden. Andere lassen grofse dunkle Planeten um diese Sterne gehn, die uns das Licht der letzten verdecken, wenn sie zwischen uns und jenen Sternen vorübergehn. Wieder andere nehmen an, dafs diese Himmelskörper linsenförmig gestaltet sind, wo sie dann, wenn sie während ihrer Rotation um ihre grofse Axe uns ihre Kanten oder schmalen Seiten zuwenden, unsichtbar werden. Auch wollte man diese abwechselnden Aufhellungen und Verdunkelungen eigenen periodischen Abwechselungen ihrer Atmosphäre oder einem eigenen periodischen Anspannen und Nachlassen jener

1 S. v. Lindenau's u. Bohnenberger's Zeitschr. für Astron. Th. V. S. 185 und 316.

Naturkraft zuschreiben, durch welche das Selbstleuchten der Gestirne hervorgebracht werden soll, u. dgl.

I. Neue oder wieder verschwundene Sterne.

Oefter schon hat man in früher ganz sternlosen Gegenden des Himmels unerwartet einen meistens gröſsern und hellern Stern gefunden, der früher nicht da gewesen sein kann. Der erste dieser *neuen* Sterne scheint derjenige zu seyn, dessen Plinius[1] erwähnt, den Hipparch (150 Jahre vor Chr. G.) gesehn hat, und durch den dieser groſse Astronom veranlaſst worden seyn soll, das erste Sternverzeichniſs durch Beobachtungen zu construiren. Er soll, wie Plinius hinzusetzt, eigene Instrumente zu diesem Zwecke erfunden haben, durch die man ihre Gröſse und ihren Ort am Himmel bestimmen konnte, damit die Nachwelt den Zustand des Himmels zu seiner Zeit erfahren und jedes neu hinzugekommene Gestirn sogleich als ein solches erkennen möchte. Dieses Sternverzeichniſs, das uns Ptolemäus in seinem Almagest aufbehalten hat, enthielt nur die gröſsten, mit freien Augen sichtbaren Fixsterne, und doch wird diese Unternehmung, uns die Sterne des Himmels auf diese Weise gleichsam zuzuzählen, von Plinius „ein verwegenes, die Gottheit beleidigendes Werk“ genannt. Was würde er zu unserm Sternkatalog der Histoire céleste oder zu Bessel's Zonenbeobachtungen gesagt haben, die beide gegen 50000 Sterne enthalten?

Ein zweiter neuer Stern erschien im J. 389 nach Chr. G. zur Zeit des Kaisers Honorius, im Sternbilde des Adlers. Er soll durch drei Wochen an Glanz der Venus gleichgekommen, aber bald darauf wieder völlig verschwunden seyn, wie Cuspinianus, der ihn selbst gesehn haben will, erzählt. Im neunten Jahrhundert beobachteten zwei arabische Astronomen, Haly und Albumazar, einen solchen neuen Stern im Skorpion, dessen Licht dem des Mondes in seinen Vierteln glich und der nach vier Monaten ebenfalls wieder ganz unsichtbar wurde. Im Jahre 945 zur Zeit des Kaisers Otto des Groſsen sah man, wie die Chronikenschreiber erzählen, einen solchen neuen sehr hellen Fixstern zwischen dem Cepheus und der Cassiopeia, und

---

1 Hist. Nat. Lib. II. §. 24.

auch im J. 1264 soll man nahe an derselben Stelle wieder ein solches Gestirn für einige Zeit bemerkt haben. Wichtiger, weil genauer beobachtet, ist der neue Stern von 1572, den Tycho am 11. November d. J. in der Cassiopeia zuerst bemerkt hatte. Er war von ganz vorzüglichem Glanze und erschien auf einer Stelle des Himmels, wo Tycho früher durchaus nur sehr kleine Sterne bemerkt hatte. Er fand ihn so hell, daſs er selbst Jupiter und Venus an Glanz überstrahlte, und daſs er sogar am Tage mit freien Augen sichtbar war. Während der ganzen Zeit seiner Sichtbarkeit konnte Tycho weder eine Bewegung, noch eine merkliche Parallaxe dieses Sterns beobachten. Nach einem Jahre aber nahm der Glanz dieses Gestirns allmälig wieder ab, und verschwand endlich gänzlich im März 1574, sechszehn Monate nach seiner Entdeckung, ohne daſs man seitdem eine Spur von ihm auffinden konnte. Bei seiner ersten Erscheinung war sein Licht blendend weiſs, zwei Monate später wurde es beträchtlich schwächer und gelblich; wieder in einigen Monaten nahm es eine röthliche Farbe an, gleich dem Mars oder Aldebaran im Stier, und im Anfange des Jahres 1574, zwei Monate vor seinem gänzlichen Verschwinden, schimmerte er nur noch in einem grauen, bleifarbenen, dem des Saturn ähnlichen Lichte. Goodrike, dessen wir schon oben bei den veränderlichen Sternen gedachten, ist der Meinung, daſs die angeführten neuen Sterne von 945 und 1264 mit diesem Tychonischen Sterne von 1572 identisch sind, und daſs daher dieser Stern ebenfalls ein veränderlicher Stern seyn soll, dessen periodischer Lichtwechsel 150 oder vielleicht 300 Jahre betrage. Allein jene zwei frühern Erscheinungen sind zu ungewiſs, als daſs auf sie eine solche Behauptung mit Sicherheit gegründet werden könnte, und es ist wohl wenig Wahrscheinlichkeit vorhanden, daſs wir diesen Stern um das Jahr 1870 wieder sehen sollten.

Ein anderer neuer Stern, dessen zuerst der Bischof Münter in seinen Briefen erwähnt, erschien am 10. October des Jahres 1604 im östlichen Fuſs des Ophiuchus. Er soll nahe so hell wie die Tychonischen gewesen seyn. Auch er verschwand im October des folgenden Jahres 1605 wieder völlig. Kepler schrieb darüber ein eigenes, auch in mehrern andern Beziehungen interessantes Werkchen [1].

1 De stella nova in pede Serpentarii. Pragae 1606.

Im Jahre 1670 am 20. Junius entdeckte Anthelm einen Stern der dritten Gröfse im Schwan, der schon nach zwei Monaten zur fünften Gröfse herabsank und bald darauf völlig unsichtbar wurde. Der berühmte Dominicus Cassini beobachtete diesen Stern schon eifrig während der ganzen Zeit seiner Sichtbarkeit.

Unter den kleinern und seltener beobachteten Fixsternen mögen Erscheinungen dieser Art wohl sehr häufig seyn. In der That kann man mehrere dieser kleinen Sterne, welche unsre Vorfahren in ihren Katalogen verzeichnet haben, nicht mehr am Himmel finden. Manche dieser Lücken mögen allerdings ihren Ursprung in Beobachtungs-, Schreib- oder Druckfehlern haben, aber es ist doch sehr unwahrscheinlich, dafs alle diese Sterne aus solchen Quellen entstanden seyn sollen. Jene grofsen, hellen, von den berühmtesten Astronomen ihrer Zeit beobachteten neuen Sterne aber lassen über ihre frühere Existenz keinen Zweifel übrig. Wie sollen nun Erscheinungen dieser Art erklärt werden? Newton schrieb sie dem Aufflammen eines Kometen oder Planeten zu, der sich in seine Sonne stürzt. Vielleicht geriethen aber auch diese grofsen und an sich dunkeln Himmelskörper durch einen für sie verderblichen Unfall in Brand, wo sie dann grofse Räume des Himmels mit ihrer lodernden Flamme erleuchteten und dann für immer verlöschten. Eine in Flammen untergehende Welt! Welch eine Katastrophe, wenn eine Sonne und mit ihr Tausende von Planeten und Kometen mit allen ihren zahllosen Schaaren von lebenden Wesen in so kurzer Zeit und auf eine so gewaltsame Weise vernichtet werden.

K. Ursprung des Weltalls.

Das Weltall ist ohne Zweifel eben so wenig, als unsere Erde, die einen so kleinen Theil von jenem bildet, in den früheren Zeiten immer in demjenigen Zustande gewesen, in welchem wir dasselbe jetzt erblicken. Da Alles in der Natur verschiedene Stufen seiner Ausbildung durchläuft, so wird auch wohl der gegenwärtige Zustand des Weltalls nur eine der unzähligen Metamorphosen seyn, die dasselbe zu durchlaufen hat, um den ihm von seinem Schöpfer gesetzten Zweck zu erreichen. Es wird aber sehr schwer, wo nicht unmöglich seyn, über

diese in der Zeit und im Raum so weit von uns entfernten Gegenstände auch nur Einiges mit Verläſslichkeit zu sagen. Ist uns doch der frühere Zustand unserer eigenen Erde noch gröſstentheils unbekannt, so viel man auch, besonders in den letzten Zeiten, darüber gesprochen und geschrieben hat. Nur die drei letztverflossenen Decennien haben eine ganze Masse von *Geologieen* zu Tage gefördert, die aber gröſstentheils, ohne unsere Kenntniſs des Gegenstandes zu fördern, nur den Erzeugnissen der Phantasie zugezählt werden müssen, durch welche dem Schwalle von Tausend und Einem Mährchen noch eine beträchtliche Vermehrung zugewachsen ist. Zwar wagt man es in unserer Zeit nicht mehr, mit dem groſsen theologischen Geologen des XVIIten Jahrhunderts die groſsen fossilen Zähne am Ohio für die Backenzähne der gefallenen Engel auszugeben, aber wenn Behauptungen dieser Art nicht mehr nach dem jetzt herrschenden Geschmacke sind, so folgt daraus noch nicht, daſs die ihnen zunächst nachfolgenden oder daſs die noch jetzt herrschenden Phantasieen unserer neumodischen Naturphilosophen besser oder vernünftiger seyn müssen. Nach den letztern z. B. soll die Erde ein lebendiges, mit Sinnen und Eingeweiden versehenes Thier seyn, das den animalischen Verrichtungen des Einathmens, Verdauens, Absonderns u. s. w. unterworfen ist, aus welchen Processen die Ebbe und Fluth des Meeres und alle andern Erscheinungen auf und unter der Oberfläche der Erde mit einer selbstgefälligen Sicherheit erklärt werden, die bei den gläubigen Zuhörern keine weitern Zweifel zu erlauben scheint. Man muſs allerdings die Mühe beklagen, welche sich diese Philosophen geben, ihre Einfälle mit den Gesetzen und Erscheinungen der Natur in Uebereinstimmung zu bringen, wenn man bedenkt, wie viel bequemer es sich ihr groſser Vorgänger, der englische Geolog Woodward, gemacht hat, der sich um diese Uebereinstimmung so wenig kümmerte, daſs er ohne Weiteres von der Voraussetzung ausging, zu jener Zeit müssen einige der allgemeinen Naturgesetze noch nicht bestanden haben oder doch, auf eine Weile wenigstens, aufgehoben gewesen seyn, so daſs es beinahe scheint, die nicht minder ewigen Gesetze des Denkens seyen auch in seinem Kopfe, für einige Zeit wenigstens, unterbrochen oder suspendirt gewesen, um dem Unsinne, den der grundgelehrte Theolog auskramt, Platz zu machen.

Man wird nicht erwarten, hier Nachrichten über den ei-

gentlichen Ursprung des Weltalls, über die erste Entstehung desselben, weder der Sache noch der Form nach, zu finden, da uns der Anfang aller Dinge unbekannt ist und wohl auch immer mit einem undurchdringlichen Schleier verdeckt seyn wird. Wir werden uns also begnügen müssen, auch nur einige Schritte in diesen schwierigen Untersuchungen vorwärts zu thun, um etwa denjenigen Zustand des Weltalls kennen zu lernen, der in der nächstvorhergehenden Periode statt gehabt hat, in einer Periode, die vielleicht Millionen Jahre vor unserer gegenwärtigen Zeit voraus liegt, und doch zugleich unendlich weit von jener Epoche entfernt liegt, welche die erste Entstehung dieser Gegenstände gesehn hat, eine Zeit, die für uns von einer finstern Nacht umhüllt wird, in die weder unsere Geschichte, noch unser Verstand, noch selbst unsere lebhafteste Imagination zu dringen im Stande ist. Aber auch jene uns nächste Periode steht doch immer noch so weit von uns ab, daſs keine menschlichen Nachrichten bis zu ihr reichen können. Unsere Menschengeschichte ist noch nicht volle vier Jahrtausende alt, und vor dieser Zeit ist alles Mythe und Finsterniſs. Wie vor dieser Zeit der Himmel, wie unser Mond, wie selbst unsere Erde ausgesehn hat, davon ist keine Nachricht bis zu uns gekommen, darüber läſst sich also auch nichts Verläſsliches sagen, sofern wir nämlich alle unsere Kenntnisse der Natur nur aus den *Beobachtungen* derselben ableiten wollen. Und aus welchen andern Quellen sollten wir sie ableiten können?

Indeſs ist uns, wenn auch der Weg, doch nicht die Aussicht zu diesem Ziele so gänzlich verschlossen, daſs wir wenigstens eine genäherte Kenntniſs desselben als völlig auſser unserem Bereiche liegend erklären müſsten. Wenn wir einen Baum betrachten, der seinen Gipfel stolz zum Himmel erhebt, seine mächtigen Zweige weit umher über der Erde verbreitet und mit zahllosen Blättern, Blüthen und Früchten geschmückt ist, so gehn wir wohl oft in Gedanken zurück auf das kleine unansehnliche Pflänzchen, auf das unansehnliche Samenkorn, aus welchem sich dieser ganze prächtige Bau durch tausend merkwürdige Metamorphosen allmälig entwickelt hat. Dieser Rückgang wird uns um so leichter, je genauer wir diese Samenkörner kennen, da wir diese Verwandlungen von den ersten Keimen dieses Korns, von den Kotyledonen, bis zu dem vollendeten Wachsthume an so vielen andern Bäumen mit un-

sern eigenen Augen gesehen haben. Aber es würde uns nicht minder leicht seyn, wenn wir diese allmälige Entwickelung eines Baumes in einer Reihe von Jahren auch nie in der That beobachtet hätten, wenn wir aber dafür plötzlich in einen Garten versetzt würden, in welchem wir eine grofse Anzahl dieser Gewächse auf allen Stufen ihrer Entwickelungen erblickten, so dafs wir gleichsam von jedem einzelnen Baume nicht nur seinen gegenwärtigen Zustand, sondern auch, durch Vergleichung mit seinen Nachbarn, alle die frühern Zustände erkennen würden, durch die er gegangen ist, so wie zugleich diejenigen, die er in der Folgezeit noch durchwandern mufs, bis er endlich seine Bestimmung vollständig erreicht hat. Ganz in demselben Falle sind wir aber auch, wenn wir den Himmel über uns mit seinen zahllosen Gestirnen betrachten. Wir können uns bei dem Anblick desselben kaum des Gedankens enthalten, dafs auch dieser Himmel nur ein endloser Garten ist, der in einer unabsehbaren Reihe von blühenden Gefilden die mannigfaltigsten Pflanzen auf allen Stufen ihres Wachsthumes enthält. Warum sollten auch die Körper des Himmels, gleich den Zierden unserer Fluren, warum sollten nicht auch diese Zierden des himmlischen Gartens einer ähnlichen stufenweisen Ausbildung und Umwandlung unterliegen?

Wenn wir das, was oben (Abtheilung E) über die verschiedenen Gestalten der Himmelskörper gesagt ist, näher betrachten, so fühlen wir uns gleichsam gezwungen, diese allmäligen Verwandelungen derselben anzunehmen. Hier erblicken wir ganze grofse Gegenden des Himmels von mehrern Quadratgraden mit einem feinen, düstern, formlosen Nebel überzogen. Dort hat sich die grofse Nebelwolke bereits in einzelne kleinere aufgelöst, die bereits in einem hellern Lichte dämmern und gleichsam heerdenweise, unsern sogenannten Lämmerwolken ähnlich, in oft grofser Anzahl neben einander stehn. In jener Heerde hat sich vielleicht durch das Ineinanderfliefsen mehrerer kleinen bereits eine gröfsere, hellere Wolke, ein eigentlicher Centralpunct der Anziehung, gebildet, um den sich die übrigen kleineren versammeln, in dem diese mit der Zeit sich vereinigen werden. Dort schimmert bereits eine solche an Kraft und Licht überwiegende Wolke, zwar noch Nebel, aber gegen die Mitte schon heller und dichter und auch an ihren Grenzen bereits der Kugelform sich nähernd. In jener noch

mehr abgerundeten Nebelkugel tritt bereits ein sterniges Licht aus ihrer Mitte hervor. Hier hat sich dieses Licht schon in einen eigentlichen hellstrahlenden Fixstern zusammengezogen, oder in mehrere solche Sterne, den Anfang einer eigentlichen *Sterngruppe* (Abth. E), gespalten. Dort stehen zwei solche zu reinem Sternenlichte aufgeklärte, hellstrahlende Körper in den beiden Brennpuncten eines sie umfliefsenden elliptischen Nebels; dort zieht ein anderer heller Stern noch einen spindel- oder fächerartigen Nebelschweif nach sich, während an unzähligen andern Orten des Himmels schon ganz ausgebildete, völlig nebellose, eigentliche Fixsterne entweder einzeln, oder paarweise als *Doppelsterne*, oder endlich wieder heerdenweise als eigentliche *Sterngruppen* gesehn werden. Sind diese letzten immer so gewesen, oder sind sie erst aus jenen frühern Gestalten durch allmälige Entwickelungen hervorgetreten? Man kann nicht umhin, die letzte dieser Fragen bejahend zu beantworten, sobald man diesen erhabenen Gegenstand, soweit er uns erlaubt ist, näher betrachtet.

Zu demselben Resulate gelangte auch LAPLACE[1], der sich auf folgende Weise darüber ausdrückt: „Herschel, en observant les nébuleuses au moyen de ses puissans télescopes, a suivi les progrès de leur condensation, (non sur une seule, ses progrès ne pouvant devenir sensibles pour nous qu'après des siècles, mais) sur leur ensemble, comme on suit dans une vaste forêt l'accroissement des arbres sur les individus de divers âges, qu'elle renferme. Il a d'abord observé la matière nébuleuse répandue en amas divers, dans les différentes parties du ciel, dont elle occupe une grande étendue. Il a vu dans quelques-uns de ces amas cette matière faiblement condensée autour d'un ou de plusieurs noyaux peu brillans. Dans d'autres nébuleuses ces noyaux brillent davantage rélativement à la nébulosité, qui les environne. Les atmosphères de chaque noyau venant à se séparer par une condensation ultérieure, il en résulte des nébuleuses multiples formées de noyaux brillans très voisins et environnés chacun d'une atmosphère; quelquefois la matière nébuleuse, en se condensant d'une matière uniforme, produit les nébuleuses, que l'on nomme *planétaires*. Enfin un plus

---

1 Exposition du Système du monde. Vme éd. Par. 1824. T. II. p. 403.

grand degré de condensation transforme toutes ces nébuleuses en étoiles. Les nébuleuses classées d'après cette vue philosophique indiquent avec une extrême vraisemblance leur transformation future en étoiles et l'état antérieur de nébulosité des étoiles existantes. Ainsi l'on *descend* par le progrès de la condensation de la matière nébuleuse à la considération du soleil environné autrefois d'une vaste atmosphère, considération, à laquelle je suis *remonté* par l'examen des phénomènes du système solaire."

Wir werden später zu dieser von LAPLACE hier erwähnten speciellen Beobachtung der Entstehung unseres *Sonnensystems* übergehn, nachdem wir zuerst die vorzüglichsten Theorieen seiner Vorgänger kurz angezeigt haben.

So viel über die wahrscheinliche Entstehung des Weltalls aus dem anfänglichen chaotischen Urnebel. Gehn wir nun zu den Betrachtungen über, die man über die Entstehung unseres *Planetensystems* aufgestellt hat[1].

I. WHISTON's Theorie.

Nach WHISTON war unsere Erde, und ebenso jeder andere Planet unseres Systems, anfangs ein *Komet*, der sich wohl, wie alle Kometen, um die Sonne bewegte, aber ohne sich um seine Axe zu drehen. In diesem Zustande konnte, nach ihm, diese Erde noch keine Bewohner haben, sondern blofs einem todten Klotze gleichen. Nach vielen Millionen von Jahren stiefs diese kometenartige Erde zufällig mit einem andern Kometen zusammen, und nun fing jene an, um ihre Axe zu rotiren. Der durch diese Rotation entstandene Wechsel des Tages und der Nacht lockte Pflanzen und Thiere und endlich auch die Menschen auf der Oberfläche der Erde hervor. Nun begann die sogenannte paradiesische Periode der Erde, die unser Verfasser mit nicht minder lebhaften Farben schildert, als die darauf folgende Verschlechterung der Menschen, die endlich so grofs geworden seyn soll, dafs es eines dritten neuen Kometen bedurfte, das ganze verruchte Geschlecht durch sein Wasser zu ersäufen. Seitdem geht es, wie wir alle wissen, und bald wird es, wie wenigstens WHISTON wufste, wieder so schlecht gehn,

---

1 Vergl. Art. *Geologie*. Bd. IV. S. 1245.

dafs ein vierter und letzter Komet nothwendig seyn wird, dem Uebel für immer abzuhelfen. Dieser letzte Komet wird aber weder so stöfsig seyn, wie der zweite, noch so wässerig, wie der dritte, sondern er wird ein *feuriger* Komet seyn, der dann auch die arme Erde mit allem, was in und auf ihr lebt, in Staub und Asche verwandeln wird.

William Whiston, geb. 1667, machte sich schon in früher Jugend durch sein mathematisches Talent so berühmt, dafs er Newton's Nachfolger als Professor der Mathematik zu Cambridge wurde. Allein seine theologischen Streitigkeiten, die ihm viele Feinde machten, waren auch die Ursache seiner Entfernung (1710) von dieser Stelle. Seitdem lebte er in London von dem Unterrichte, den er Privatpersonen in der Mathematik gab. Seine zwei hierher gehörenden Werke sind: „A new theory of the earth von der Schöpfung bis zur Consummation aller Dinge," Cambridge 1708 und seine „Astronomical principles," welche Schriften bei ihrer Erscheinung als die höchsten Producte des menschlichen Geistes bewundert wurden und jetzt selbst unter den Freunden der Romane, zu welchen sie im Grunde gehören, völlig vergessen sind.

II. Theorie des Leibnitz.

Leibnitz ging von der Voraussetzung aus, dafs alle Planeten und Kometen, unsere Erde selbst nicht ausgenommen, in der Vorzeit wahre Sonnen gewesen sind, die aber, nachdem sie ein höheres Alter erreicht hatten, ihre frühere Jugendkraft zugleich mit ihrer Fähigkeit der Selbstleuchtung verloren, daher wir sie jetzt nur noch in dem von der Sonne geborgten Lichte sehn. Er war von dieser Hypothese so eingenommen, dafs er sogar die Zeit dieses allgemeinen Erlöschens jener Weltkörper mit chronologischer Präcision in jener Epoche der Schöpfungsgeschichte setzte, in welcher, nach Moses, „die Finsternifs sich von dem Lichte trennte." Obschon aber Leibnitz diese Idee mit seinem gewohnten Scharfsinne auszuführen und mit allen Reizen der Einbildungskraft auszuschmücken wufste, wie man in seiner *Protogea* selbst nachsehn kann, so bedarf es doch wohl kaum der Erinnerung, dafs es sich hier nur um einen Traum handle, dem nichts Wesentliches zum Grunde liegt, um einen Traum, der, selbst wenn er wahr wäre, zu unserer

Kenntniſs von dem Ursprunge des Sonnensystems nichts beitragen könnte. Denn woher kommen alle jene ursprünglichen Sonnen? Oder warum ist die noch jetzt scheinende Sonne nicht auch älter und schwächer geworden? Warum bewegen sich jene erloschenen Sonnen alle von West nach Ost in nahe kreisförmigen Bahnen und beinahe in derselben Ebene um jene noch leuchtende stillstehende Sonne? Diese und viele andere Fragen bleiben ganz unbeantwortet, wie denn überhaupt seine ganze Kosmogenie nur eine von den vielen hingeworſenen Ideen ist, mit welchen der groſse Mann sich in denjenigen Stunden zu vergnügen pflegte, in welchen er das feste Feld der sicheren Geometrie, das er so glücklich bebaute, verlieſs, um sich auf dem etwas weicheren Moorboden der Phantasie zu ergötzen.

III. Buffon's Hypothese.

Auſser dem Genannten haben sich noch mehrere Andere um die Kosmogenie Verdienste zu erwerben bemüht. Wir nennen hier in Kürze nur Einige derselben. Burnett[1] z. B. suchte die Schöpfungsgeschichte der Genesis auf eine zuweilen sehr sonderbare Weise mit seinen eigenen höchst excentrischen Ideen über diesen Gegenstand in Uebereinstimmung zu bringen. Descartes[2] nahm eine ursprünglich harte chaotische Urmasse an, die durch die Wirkung innerer Kräfte in Stücke zersprengt wurde. Diese Stücke setzten sich sofort in den sie allenthalben umgebenden und selbst bewegten Aether in eine wirbelnde Bewegung, woraus dann, man sieht nicht recht, auf welche Weise, Sonne, Mond und Planeten herausgewirbelt wurden. Pallas[3] leitete die Entstehung der Welt, ohne alle Hülfe des Feuers, bloſs aus dem Wasser des Urmeeres ab. Lazaro Moro[4] wurde durch die Entstehung des bekannten Monte nuovo bei Neapel im J. 1538 auf seine Schöpfungsgeschichte geführt, in welcher im Gegentheile kein Wasser thätig ist, sondern Alles aus dem Centralfeuer erklärt wird. Marschall von Bieberstein[5] stellte

1 Telluris theoria sacra. Lond. 1816.
2 Principia Philosophiae. Amst. 1685.
3 Observations sur la formation des Montagnes. Petersb. 1777.
4 Dei Crostacei cet. Venez. 1740.
5 Ueber den Ursprung des Weltgebäudes. Gieſsen 1802.

die Meinung auf, dafs die Planeten und ihre Monde blofse Conglomerate von Meteorsteinen, also desselben Ursprungs mit unseren sogenannten Sternschnuppen sind, und was dergleichen Behauptungen mehr sind, die z. B. von Silberschlag, Maillet, Wrede, Lamont, Hutton u. a. m. zu Markte gebracht wurden.

Auch Buffon versuchte seine Kraft an diesem interessanten Probleme, und seine Auflösung desselben wurde lange Zeit allgemein bewundert. Nach ihm war im Anfange aller Dinge blofs die Sonne mit einer Unzahl von Kometen da, welche letzteren in allen möglichen Richtungen um die erste schwärmten. Einige von diesen Schwärmern mufsten mit der Zeit der Sonne näher kommen, als es ihnen selbst lieb seyn mochte. Diese Begegnung konnte entweder in einer auf die Oberfläche der Sonne beinahe senkrechten, oder in einer gegen diese Oberfläche sehr schiefen Richtung vor sich gehen. Im ersten Falle stürzte der Komet auf die Sonne, um fortan mit dieser Sonne nur *einen* Körper zu bilden. Im zweiten aber mufste der Komet ein gröfseres oder kleineres Stück vom Sonnenkörper abreifsen, mit sich vereinigen und auf seiner weiten Bahn mit sich fortführen. Da die Sonne, wie Buffon sehr genau weifs, flüssig ist, und da alle Kometen, wie er ebenfalls weifs, von der Westseite kommen müssen, wenn sie die Sonne streifen wollen, so erklärt sich dadurch, wie er sagt, gleichsam von selbst schon die Entstehung sowohl, als auch die allgemeine Bewegung der Planeten von West gen Ost. Jenes abgerissene Sonnenstück nämlich, das der Komet in der Gestalt eines Baches, eines Wasserschweifes hinter sich her schleppte, trennte sich allmälig in mehrere Theile, die je nach ihrer verschiedenen Entfernung von der Sonne auch eine verschiedene Geschwindigkeit hatten und die eben durch diese Trennung auch zugleich eine Rotation um ihre Axe, wieder von West gen Ost, erhalten mufsten. Auf diese Weise sind also die Planeten entstanden, und was die Satelliten betrifft, so wiederholte sich blofs dasselbe Schauspiel noch einmal im Kleinen an den Planeten, welches wir oben an der Sonne gesehn haben.

Der blühende Styl dieses Naturforschers und die kecke Sicherheit, mit welcher er auftrat, erwarben ihm allgemeinen Beifall. In der That liefs er sich, bei dem Vortrage seines Romans, in das kleinste Detail seines Gegenstandes auf eine

Weise herab, als wäre er selbst bei der Entstehung unserer Welt ein naher Zuschauer gewesen. So behauptete er z. B., dafs jenes von dem Kometen abgerissene Sonnenstück, aus welchem später unsere Erde entstand, volle 3000 Jahre im Zustande des Weifsglühens und weitere 34000 Jahre durch die Wirkung der Hitze im Flusse gewesen sey. Am Ende dieser zweiten Periode sey das Meer noch ganz in der Atmosphäre gewesen, weil die Erde noch immer so heifs war, dafs alles Wasser derselben in Dämpfe verwandelt werden mufste. Endlich, nach weitern 25000 Jahren, fiel dieses allmälig erkaltende Wasser in Tropfen, oder vielmehr in reichen Strömen, aus der Luft zur Erde herab und bedeckte die Oberfläche dieser Erde bis auf die Höhe von 12000 Fufs. In den folgenden 20000 Jahren verlief sich dieses Wasser allmälig in die Tiefen der Erde; die Oberfläche der Erde wurde allmälig trocken, und zwar zuerst in den Aequatorialgegenden, und was dergleichen Dinge mehr sind, die er seinen Lesern alle als unbezweifelbare Wahrheiten, die unmittelbar aus seinen Berechnungen (!) hervorgegangen seyn sollten, aufzudringen sucht.

IV. Franklin's Erklärung.

Nach Mariotte's bekanntem Gesetze ist die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft ihrem Gewichte proportional, so dafs also ein doppelter oder dreifacher Druck auf ein gegebenes Volumen Luft dieselbe auch zwei- oder dreimal dichter macht. Denkt man sich eine senkrechte, oben offene Röhre im Innern der Erde, und nimmt man an, dafs die Luft in dieser Röhre mit der äufseren Atmosphäre dieselbe Temperatur habe, so würde, wenn jenes Gesetz für alle Tiefen, d. h. für jede Dichte der Luft gilt, die Luft in der Röhre bei einer Tiefe unter der Oberfläche der Erde von 7,5 deutschen Meilen schon eine so grofse Dichte haben, dafs auf ihr unser Wasser schwimmen könnte. Bei einer Tliefe von 10,5 Meilen würde das Blei und bei einer Tiefe von 12 Meilen sogar das Gold auf der so verdichteten Luft schwimmen müssen. Wenn aber der Druck, der auf einer so sehr verdichteten Luft lastet, plötzlich aufhörte oder auch nur sehr verkleinert würde, wenn also die Last der über dieser so sehr verdichteten Luftschicht ruhenden Atmosphäre nachliefse, so würde jene dichte Luftschicht,

gleich einem unter dem Wasser ausgelassenen Korkholze, schnell in die Höhe fahren und so lange steigen, bis sie mit der noch übrigen auf ihr lastenden Atmosphäre wieder im Gleichgewicht seyn würde. Dieses als bekannt vorausgesetzt, ist es nun weiter nicht mehr schwer, Franklin's Hypothese gehörig aufzufassen. Er geht von der Ansicht aus, wonach unsere Erde in ihrem Innern nicht fest, sondern flüssig seyn soll, aber diese Flüssigkeit hält er für so dicht, daſs auf derselben alle feste Körper, die wir auf der Oberfläche der Erde kennen, schwimmen. Er hält dafür, daſs diese innere Flüssigkeit der Erde nichts anderes, als Luft ist, die aber durch die äuſsere atmosphärische Luft nach dem erwähnten Mariotte'schen Gesetze bis zu jener gewaltigen Dichte zusammengedrückt worden ist. In dieser so stark verdichteten Luft werden sich nun alle festen Körper, die entweder in sie gerathen oder die sich aus ihr und ihren heterogenen Bestandtheilen entwickeln, jeder in einer bestimmten Entfernung vom Mittelpuncte der Erde setzen, und wenn ihrer mehrere, in gleichen Entfernungen von dem Mittelpuncte, zusammenkommen, so werden sie eine Art von Kruste, eine Rinde oder Kugelschale bilden, welche die innere, noch dichtere Luft ringsum einschlieſst, und die an manchen ihrer Stellen so dünn und schwach seyn kann, daſs sie durch eine von innen auf sie wirkende Kraft leicht dem Zerbrechen ausgesetzt wird.

Franklin nimmt dem gemäſs an, daſs alle Weltmaterie mit den in ihr wirkenden Kräften anfänglich nur in der Gestalt eines Dunstes durch den Raum des Universums verbreitet gewesen ist. Als nun die Anziehung der einzelnen Theile dieser Materie zu wirken begann, muſsten sich die schwerern Dunsttheilchen dem Mittelpuncte immer mehr nähern, und, da sie sich vermöge ihrer Elasticität auch gegenseitig abstieſsen, zugleich immer dichter werden, je mehr sie sich anhäuften, wodurch dann eben die erwähnte Luft- oder Dunstkugel entstanden ist, in welcher sich die übrigen Körper auf die angegebene Weise festsetzten. Viele dieser Körper, die anfangs durch ihren Fall zu tief in jenen verdichteten Dunst herabgesunken waren, stiegen nachher wieder auf, schlossen sich an die übrigen an, und bildeten endlich diese Kruste, diese Oberfläche der Erde, die wir bewohnen, und die jetzt so tief in die ganze Luftkugel eingesenkt ist, daſs bloſs noch unsere gegenwärtige Atmosphäre

darüber hinausragt. Chemische Processe, Gasentwickelungen, Explosionen von Dämpfen, die unter dieser Kruste in der dort so stark verdichteten Luft statt haben, werden diese Kruste an einzelnen Stellen durchbrechen, wodurch die neptunischen und vulcanischen Revolutionen erklärt werden können, die unsere Erde schon so oft erlitten zu haben scheint, oder sie werden, wenn sie jene Rinde nicht durchbrechen können, dieselbe doch an manchen Stellen bedeutend erheben, wodurch unsere Berge entstehn, oder sie werden endlich in jener untern Luft grofse, wellenartige Bewegungen hervorbringen, die sich auf Hunderte von Meilen erstrecken, und uns, auf der Oberfläche dieser Kruste, als Erdbeben erscheinen. Dieser ursprüngliche Dunst, diese nebelartige, chaotische Urmaterie, oder wie man sie sonst nennen will, ist nicht mit unserer atmosphärischen Luft identisch; diese letztere ist vielleicht nur ein Product oder auch der feinste Theil von jener. Wir haben bereits oben, bei Betrachtung der Sterngruppen und Nebelmassen des Himmels, die Annahme einer solchen nebelartigen Urmasse sehr wahrscheinlich gefunden, eine Idee, die Herschel durch seine Beobachtungen bestätigt fand, und die auch schon Newton hegte, welcher der Ansicht war, dafs die ganze Welt sich aus einem flüchtigen Wesen niedergeschlagen habe, wie sich etwa Wasser aus Dämpfen niederschlägt, und dafs dann dieser Niederschlag zu den mannigfaltigsten Formen zusammengeronnen sey, die wir jetzt an den Körpern der Erde bemerken.

Wem der Ausdruck, setzt Lichtenberg hinzu, dafs auch die festesten Körper in letzter Analyse aus Luft bestehn sollen, zu auffallend erscheint, der erinnere sich nur, dafs die Mischung zweier bekannter Luftarten ebenfalls Wasser gebe, und dafs aus Wasser Eis werden kann, ja dafs sich auch mehre Luftarten, durch die blofse Abnahme der Temperatur, vielleicht in ganz feste Körper verwandeln lassen. Dasselbe Wasser, auf gebrannten Gyps gegossen, erhärtet mit ihm zu einem steinartigen Körper, aus dem wir Statuen machen, welche letzteren also eigentlich auch aus blofsen Luftarten bestehn. Wasser entsteht aus der Luft; viele Pflanzen entstehn aus dem Wasser, und unzählige Thiere leben allein von Luft, Wasser und Pflanzen, das heifst also, sie leben von Luft und von solchen Körpern, die früher ebenfalls Luft gewesen sind. In diesem Sinne kann man also sagen, dafs diese Thiere selbst früher Luft gewesen

sind, und dafs daher der Elephant mit aller seiner Majestät und seinem harten Elfenbeine aus Dunst zusammengeronnen ist, wie Franklin's Welt. In der That, da die Natur ihre Pflanzen und Thiere nicht baut, wie wir unsere Häuser bauen, sondern da sie sich bei ihren Productionen derjenigen Kräfte bedient, die sie in die kleinsten Elemente der Körper gelegt hat, und da eben diese Kräfte nun wieder in den kleinsten Distanzen wirksam sind, so ist immer und überall Flüssigkeit, die feinste Flüssigkeit nöthig, damit sich alles finden und an einander fügen kann. Da aber auch diese Flüssigkeit, wenn sie allein da wäre, sich bald in den unendlichen Raum zerstreuen oder durch ihre eigene Schwere nach den tiefsten Stellen fallen würde, so müssen diese flüssigen Körper auch in elastische, d. h. in luftförmige Körper übergehn, und so sind wir, in letzter Instanz, immer wieder gezwungen, auf eine anfängliche dunst- oder luftförmige Materie zurückzugehn.

V. Laplace's Theorie.

Wenn wir die Einrichtung unsers Sonnensystems näher betrachten, so bemerken wir in der Anordnung der Körper, aus welchen dieses System besteht, einige Eigenheiten, von denen wir uns bisher noch keinen Grund angeben konnten, die aber dessenungeachtet höchst wahrscheinlich eine solche haben müssen, weil sie *allgemeine* Eigenschaften des Systems sind oder weil sie bei *allen* Körpern desselben ohne Ausnahme bemerkt werden. Warum die Distanzen der Planeten gerade so vertheilt, warum die grofsen Axen ihrer Bahnen ebenso gerichtet, warum die Massen und Dichtigkeiten dieser Körper ebenso abgewogen sind, wie wir es jetzt in unserm Sonnensysteme bemerken, davon können wir keine Ursache angeben, haben auch keine Veranlassung, eine solche Ursache aufzusuchen, da alle die genannten Elemente durchaus nichts Regelmäfsiges zeigen, sondern blofs zufällig so vertheilt zu seyn scheinen, wie sie es in der That sind. Aber ganz anders verhält sich die Sache mit einigen andern Elementen der Planetenbahnen, bei denen man nämlich eine gewisse, allen diesen Bahnen gemeinschaftliche Regelmäfsigkeit bemerkt.

Man hat nämlich, nicht ohne Verwunderung, gefunden, dafs alle Planeten ohne Ausnahme in *derselben* Richtung von

West gen Ost um die Sonne gehn; dasselbe sieht man auch bei den Satelliten wiederkehren, die sich ebenfalls in derselben östlichen Richtung um ihre Hauptplaneten bewegen. Ja selbst die täglichen Rotationen der Planeten um ihre Axen gehn sämmtlich wieder in derselben Richtung vor sich. Dieses ist aber in der That sehr auffallend. Denn unser System, so weit wir dasselbe jetzt kennen, besteht aus eilf Planeten und achtzehn Satelliten. Von denjenigen Planeten, deren Rotation uns durch die Beobachtungen bekannt geworden ist, kennen wir sechs, überdies auch die Sonne, unsern Mond, die vier Monde Jupiters und einen Mond, so wie den Ring des Saturn. Dieses giebt demnach dreiundvierzig Bewegungen, die alle nach derselben Seite gerichtet sind. Eine so grofse Anzahl kann aber nicht wohl die Folge eines blofsen Zufalls seyn. Nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung kann man in der That mehrere Millionen gegen Eins wetten, dafs dieser Erscheinung eine bestimmte, sie alle umfassende Ursache zum Grunde liegen müsse. Wir sind daher gleichsam gezwungen, anzunehmen, dafs irgend eine uns unbekannte Kraft diese Regelmäfsigkeit der Bewegungen von West gen Ost hervorgebracht habe.

Eine andere, nicht minder auffallende Eigenschaft unseres Systems ist die *geringe Excentricität*, die wir beinahe bei allen Planeten- und Satellitenbahnen beobachten. Von den sieben ältern Planeten gilt dieses, selbst bei Mercur, und auch von den vier neuen unterliegen Ceres und Vesta demselben Gesetze, während blofs Pallas und Juno eine bedeutendere, aber doch noch lange keine so grofse Excentricität haben, wie die Kometen. Juno hat die gröfste Excentricität unter allen Planeten, der Biela'sche Komet hat die kleinste unter allen Kometen. Aber wie verschieden sind doch noch diese beiden von einander! Die Excentricität der Junobahn beträgt nur 0,25, während die der Biela'schen Kometenbahn schon 0,75 ihrer halben grofsen Axe einnimmt. Dasselbe gilt auch von den *Neigungen* dieser Bahnen gegen die Ekliptik, oder vielmehr gegen den Sonnenäquator. Diese Neigungen sind bei allen Planeten- und Satellitenbahnen ungemein klein, und selbst bei den meisten neuen Planeten noch so gering, während im Gegentheile die Neigungen der Kometenbahnen alle Grade des Himmels von 0 bis 180° durchlaufen.

Wie sollen wir uns aber diese drei merkwürdigen Eigenthümlichkeiten unseres Sonnensystems erklären? So viel ist klar, dafs die eigentliche Ursache derselben schon bei der ersten Entstehung dieses Systems wirksam gewesen seyn mufs, dafs man nämlich diese Eigenthümlichkeiten, wenn man sie überhaupt erklären will, nur aus dem ursprünglichen Zustande dieses Systems erklären kann. FRANKLIN's oben mitgetheilte Hypothese geht, wie man gesehn hat, mehr die Entstehung und erste Ausbildung unserer Erde an, sie ist ein geologischer, kein kosmogenischer Versuch, und fällt daher hier aufser unserer Betrachtung; BÜFFON's Hypothese aber soll eine eigentliche Kosmogenie seyn. Sehen wir zu, ob sie jenen Eigenthümlichkeiten des Sonnensystems entspricht. BÜFFON's Hypothese erklärt offenbar sehr gut, warum die jährlichen Bewegungen der Planeten alle dieselbe Richtung haben. Denn wenn sie in der That alle durch einen Kometen entstanden sind, der, indem er auf seinem Laufe die Oberfläche der Sonne streifte, einen Theil derselben mit sich fortgerissen hat, so müssen offenbar alle so entstandene Körper sich mehr in derjenigen Ebene bewegen, die durch den Mittelpunct der Sonne und durch die Richtung des materiellen Stromes ging, aus welchem sie entstanden sind. Allein die übrigen oben erwähnten Eigenthümlichkeiten unsers Planetensystems werden durch diese Hypothesen offenbar nicht erklärt, nämlich man sieht nicht, warum auch die täglichen Bewegungen der Planeten und ebenso auch der Satelliten um ihre Axe alle nach einer und derselben Seite gerichtet sind und warum die Excentricitäten ihrer Bahnen alle nur klein sind. Wenn ein Himmelskörper auf seinem Laufe um die Sonne derselben so nahe kommt, dafs er die Sonne an ihrer Oberfläche beinahe berührt, so wird er, wie aus der Theorie der Centralkräfte bekannt ist, bei jeder jährlichen Wiederkehr zu demselben Puncte seiner Bahn diese Oberfläche der Sonne wieder berühren, woraus denn folgen würde, dafs die Planeten, wenn sie den von BÜFFON aufgestellten Ursprung in der That gehabt hätten, nicht in nahe kreisförmigen, sondern umgekehrt in sehr excentrischen Bahnen um die Sonne laufen müfsten. Endlich sieht man auch nicht, warum die Bahnen von mehr als 150 bereits berechneten Kometen alle ohne Ausnahme so sehr excentrisch sind, wenigstens wird man von dieser Erscheinung in BÜFFON's Hypothese keinen annehmbaren Grund finden können.

Laplace hat diesen Gegenstand auf folgende Weise zu erklären gesucht. Welches auch, sagt er, die wahre Ursache seyn mag, welche jene Erscheinungen hervorgebracht hat, sie mufs ihre Wirkung auf das *ganze* Planetensystem ausgedehnt haben. Wenn man aber die ungeheuern Distanzen berücksichtigt, welche diese Planeten von einander und von der Sonne trennen, so läfst sich jene Ursache wohl nur in einer durch den ganzen Planetenraum ausgedehnten, flüssigen Materie finden. Diese Flüssigkeit wird die Sonne, gleich einer ungeheuern Atmosphäre, umgeben und zugleich eine nahe kreisförmige Bewegung um dieselbe und zwar von West gen Ost oder nach der Richtung der Zeichen des Thierkreises gehabt haben. Vielleicht also, dafs die ursprüngliche Atmosphäre der Sonne, in Folge einer sehr hohen Temperatur dieses Himmelskörpers, anfangs bis an die äufsersten Grenzen des Planetensystems ausgedehnt gewesen ist und dafs sie sich in einer Aufeinanderfolge von vielen Jahrtausenden allmälig immer mehr und mehr abgekühlt und dadurch gegen den Mittelpunct der Sonne zurückgezogen hat. In jenem ursprünglichen Zustande würde also unsere Sonne jenen Nebelmassen geglichen haben, deren uns die Fernröhre so viele am Himmel gezeigt haben, jenen düstern, kugelförmigen Lichtwolken, in deren Mitte man einen mehr oder weniger hellen Kern, den künftigen Fixstern, sieht, der aus der Condensation, aus dem Niederschlage des ihn umgebenden Nebels entstanden ist und sich, aus derselben Quelle seine Nahrung ziehend, auch noch weiter ausbilden wird, bis die anfangs vielleicht ganz diffuse, auf einen ungeheuern Raum zerstreute, weder scharf begrenzte, noch selbst durch die stärksten Teleskope bemerkbare Nebelwolke sich endlich, nach Millionen von Jahren, auf einen Fixstern zusammengezogen, zu einer eigentlichen Sonne ausgebildet hat. Diese anfänglich so weit ausgedehnte Atmosphäre der Sonne angenommen, wie soll sie die oben erwähnten übereinstimmenden progressiven und rotatorischen Bewegungen der Planeten verursacht haben? Wenn diese Planeten schon mit oder vor jener Atmosphäre, aufserhalb derselben, da gewesen und etwa erst nach ihrer Entstehung durch ihre Bewegung in diese Atmosphäre gefallen wären, so würden sie, in Folge des Widerstandes dieses Mediums, alle in die Sonne selbst, in den Mittelpunct jenes grofsen Himmelskörpers gerathen seyn und

sich mit ihr für immer vereinigt haben. Man wird also annehmen müssen, dafs diese Planeten erst später, erst nach dieser Atmosphäre entstanden sind, dafs sie aus dieser Atmosphäre selbst, nämlich an den verschiedenen Grenzen derselben, entstanden sind, die sich durch die allmälige Verkühlung jener anfangs so heifsen Nebelmassen gebildet haben, wo sich, besonders in der Nähe des Aequators derselben, Krusten von gröfserer Dichte und Härte bildeten, die sich allmälig conglomerirten, kugelförmige Körper bildeten und sich endlich von der sich immer weiter zusammenziehenden Nebelmasse trennten, um als selbstständige Körper für sich zu existiren.

Nach den Grundsätzen der Mechanik kann die Atmosphäre der Sonne zu keiner Zeit wahrhaft unendlich gewesen seyn: ihre Grenze müfste dort sich finden, wo die aus ihrer Rotation hervorgehende Centrifugalkraft ihrer Schwere gegen den Mittelpunct das Gleichgewicht hält. Je mehr sich aber diese Atmosphäre in der Folge der Zeiten zusammengezogen und an ihrer jedesmaligen äufsersten Grenze verdichtet hat, desto gröfser mufste auch die Rotationsgeschwindigkeit dieser Grenze werden. Dadurch wurde aber auch die Centrifugalkraft dieser Grenze gröfser, und dieses vermehrte wieder die Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit der Absonderung jener Körper, die aus den allmälig immer kleinern Grenzen jener Atmosphäre in der Nähe ihres Aequators, wo die Centrifugalkraft am gröfsten ist, durch die erwähnte Conglomeration derselben hervorgegangen sind. Diese Körper mufsten auch, nachdem sie sich von der Sonne getrennt hatten, ihre frühere kreisförmige Bewegung um die Sonne noch immer fortsetzen, eben weil an den Orten, wo sie entstanden, die Centrifugalkraft derselben ihrer Schwere gegen die Sonne nahe gleich gewesen ist. Für die anderen, vom Aequator weiter entfernten Theile dieser auf einander folgenden Erkühlungsschalen der Sonne war die Schwere gegen den Mittelpunct gröfser, als ihre Centrifugalkraft, und diese Theile mufsten sich daher dem Mittelpuncte immer mehr nähern, bis sie, auf diesem Wege, auch dem Aequator allmälig näher kamen und endlich auch hier wieder das Schicksal von jenen theilten, sich von der Sonne selbst trennten und als für sich bestehende, isolirte Körper sich um dieselbe bewegten. Die so entstehenden Zonen der durch die Abnahme ihrer Temperatur verdichteten Sonnenatmosphäre bildeten wahrscheinlich anfangs

concentrische Ringe, deren gemeinschaftlicher Mittelpunct das Centrum der Sonne war. Die gegenseitigen Reibungen der einzelnen Theile eines jeden solchen Rings werden so lange gegen einander gewirkt haben, bis sie endlich alle *dieselbe* Winkelbewegung erhalten haben und der ganze Ring im Gleichgewichte sich bewegen konnte. Dann mufsten also die von dem Mittelpuncte entfernteren Theile des Ringes eine gröfsere reelle Geschwindigkeit haben, als die näheren Theile. Wenn nun alle Theile eines solchen Dampfringes sich durchaus *regelmäfsig* verdichteten, so mufste aus ihm mit der Zeit ein flüssiger ringförmiger Strom oder selbst ein fester ringförmiger Körper entstehn. Allein man sieht, dafs eine solche regelmäfsige Verdichtung und Abkühlung aller Theile eines solchen Dampfringes bei den unzähligen, auf die Bildung desselben einwirkenden, Störungen wohl nur sehr selten sich ereignen konnte. Auch haben wir in unserm Planetensysteme nur einen einzigen Fall dieser Art, nämlich den Saturn mit seinem Ringe oder mit den mehrfachen, ihn concentrisch umgebenden Ringen. In beinahe allen andern Fällen mufste ein solcher Ring noch vor seiner vollendeten Bildung in mehrere Stücke zerreifsen. Diese Stücke, deren Geschwindigkeiten unter einander nur wenig verschieden war, bewegten sich dann nahe in derselben Distanz um die Sonne; sie nahmen, da sie aus flüssigen, jedem Eindrucke leicht nachgebenden Massen bestanden, den Regeln der Mechanik gemäfs, eine sphäroidische Gestalt an, und alle bewegten sich (wie der Ring, aus dem sie entstanden, wie die ursprüngliche Sonnenatmosphäre selbst, aus der jene Ringe entstanden) in *derselben* Richtung von West gegen Ost um die Sonne. Selbst ihre Rotationen um die eigenen Axen dieser Sphäroide mufsten dieselben nach Ost gehenden Richtungen erhalten, da bei ihrer ersten Entstehung ihre der Sonne näheren Theile eine kleinere reelle Geschwindigkeit hatten, als die entfernteren. Auf diese Weise entstanden also die Planeten, die selbst anfangs, wie die Sonne, aus deren Schoofs sie hervorgingen, nur dunstförmige Körper gewesen seyn mögen, deren Dichtigkeit aber schon beträchtlich gröfser war, als die Dichte der Sonnenatmosphäre in der Gegend, wo sie, durch Conglomeration dieser Atmosphäre, entstanden sind. Eins dieser Stücke, die aus dem zersprungenen Ringe hervorgingen, war an Volumen und Masse bedeutend

grösser, als die andern, zog daher diese andern an sich, und nun sehn wir z. B. in der Entfernung des Mars, wo früher vielleicht unzählige kleine Planeten nahe hinter einander um die Sonne kreisten, nur einen einzigen grössern Körper, der aus der Vereinigung von allen jenen entstanden ist, um diesen Centralkörper sich bewegen. Zwischen Mars und Jupiter aber, in dem grossen Zwischenraume, der die Bahnen dieser zwei Planeten von einander trennt, scheint diese Vereinigung aller Körper zu einem einzigen nicht vollständig vor sich gegangen zu seyn, da hier die vier sogenannten neuen Planeten die Stelle eines einzigen vertreten.

Diese allmälige Ausbildung der Planeten aus der Sonne läfst sich nun ebenfalls auf die Bildung der Satelliten aus den Planeten fortführen. Die anfänglich dunstförmige Masse des Planeten bewegte sich jährlich um die Sonne und täglich um seine eigene Axe. Aber auch hier, wie früher bei der Sonne, bildete sich gegen das Centrum des Planeten ein dichterer Kern, ein Mittelpunct der Anziehung; die anfangs sehr grosse und heisse Dunstsphäre der Planeten zog sich durch Abkühlung gegen ihren Mittelpunct zurück und setzte an ihren Grenzen, besonders an dem Aequator, dichtere ringförmige Zonen ab, die in mehrere Stücke zerrissen, welche letztere wieder in sphäroidische Massen sich umformten, von denen die grösseren die übrigen an sich zogen und so den *Satelliten* dieser Planeten ihre Entstehung gaben.

Man sieht, dafs bei einem solchen Ursprunge der Planeten sowohl, als auch der Satelliten die oben erwähnten Eigenthümlichkeiten unseres Sonnensystems allerdings sehr wohl zu erklären sind. Die Planeten bewegen sich alle in der Nähe des Sonnenäquators, weil sie aus einer Aequatorialzone der Sonne entstanden sind; sie bewegen sich in nahe kreisförmigen Linien (in wenig excentrischen Ellipsen), weil ihre frühere Bewegung zu der Zeit, wo sie noch integrirende Theile der Sonnenatmosphäre ausmachten, ebenfalls kreisförmig waren; sie bewegen sich alle gegen Ost, weil die ursprüngliche Bewegung der Sonne ebenfalls östlich war, und sie drehn sich auch in derselben Richtung um ihre Axen, weil die ursprünglich nächsten Theile derselben an der Sonne eine kleinere Geschwindigkeit haben mufsten. Dasselbe gilt ebenfalls von den Satelliten in Beziehung auf ihre Hauptplaneten. Wenn unser

ganzes Planetensystem auf eine völlig regelmäſsige Weise, ohne alle Störungen, entstanden wäre, so würden alle Bahnen der Planeten und Satelliten genau kreisförmig seyn und die Ebenen dieser Bahnen würden völlig mit dem Aequator der Sonne oder der Hauptplaneten zusammenfallen. Allein man sieht leicht, daſs die zahllosen Abweichungen, die in der Dichtigkeit und der Temperatur der einzelnen Theile jener ursprünglich so weit ausgedehnten Sonnenatmosphäre herrschen muſsten, die Neigungen und die Excentricitäten erzeugt haben können, die wir nun an diesen Bahnen beobachten.

Bei dieser Erklärung des Ursprungs unseres Planetensystems sind offenbar die *Kometen* nicht berücksichtigt worden. Laplace betrachtet sie als unserem Systeme nicht ausschlieſslich zugehörende, sondern als allgemeine kosmische Körper, als in dem Himmelsraume von einem Systeme zu dem andern herumirrende Nebel, die sich aus der durch den unendlichen Raum so verschwenderisch ausgestreuten Nebelmasse durch Verdichtung bilden. Wenn diese Nebelwolken in die Wirkungssphäre unserer Sonne eintreten, so werden sie von ihr gezwungen, gleich den andern Körpern unsers Systems Linien der zweiten Ordnung um sie zu beschreiben. Da aber die Gröſse und die Richtung ihrer Geschwindigkeit, bei ihrem Eintritte in die Attractionssphäre der Sonne, jede mögliche seyn kann, so wird auch die Richtung ihrer Bewegung und die Neigung ihrer Bahn ganz willkürlich erscheinen, was mit den Beobachtungen vollkommen übereinstimmt. Auch die groſse Excentricität der Kometenbahnen läſst sich auf diesem Wege auf eine ganz einfache Weise erklären. Wenn diese Bahnen elliptisch sind, was sie aus bekannten mechanischen Grundsätzen in den meisten Fällen seyn müssen, so können sie nur sehr excentrische Ellipsen seyn, weil ihre groſsen Axen wenigstens dem Halbmesser der Attractionssphäre der Sonne gleich seyn müssen, an deren Endpuncte sie die der Sonne angehörende Bewegung gleichsam beginnen. Wir aber können diese meistens nur kleinen und lichtschwachen Körper erst dann durch unsere Fernröhre bemerken, wenn die Periheldistanz derselben nur klein ist. Die meisten der bisher berechneten Kometenbahnen haben eine Periheldistanz, die kleiner ist, als der Halbmesser der Erdbahn, und keine hat eine doppelt so groſse. Eine so beträchtliche groſse Axe der Ellipse, verbunden mit

einer so geringen Periheldistanz, führt aber unmittelbar auf eine grofse Excentricität der Ellipse.

Wenn solche Kometen zu jenen frühen Zeiten, wo die Atmosphäre der Sonne oder die der Planeten noch so grofse Räume einnahmen, während ihrer Läufe durch die Himmelsräume in diese Atmosphären geriethen, so mufsten sie in diesen Dunstkugeln Spiralen beschreiben und in diesen Curven endlich in die Sonne oder auf den Planeten fallen, in diesem letzten Falle aber, durch ihren Zusammenstofs mit dem Planeten, die Ebene der Bahn, so wie den Aequator des Planeten mehr oder weniger von den Sonnenäquator entfernen, wodurch eine Verrückung der Pole und der Klimate des Planeten erzeugt wurde. Vielleicht ist dieses in der Vorzeit mit unserer Erde mehr als einmal geschehn, wie mehrere Erscheinungen in unsern jetzigen kalten Zonen, die sonst nur den wärmern Gegenden eigenthümlich sind, anzuzeigen scheinen.

Die Wahrscheinlichkeit dieser Erklärung wird noch durch mehrere andere Gründe erhöht. Dafs die Planeten und ihre Monde anfangs in einem flüssigen Zustande waren, es mag nun dieser Zustand durch Wasser oder durch eine grofse Hitze hervorgebracht worden seyn, folgt schon aus der sphäroidischen, an ihren Polen abgeplatteten Gestalt dieser Körper. Auch die merkwürdige Gleichheit der Umlaufs- und Rotationszeit der Satelliten führt nothwendig auf einen solchen ersten flüssigen oder vielmehr dunstförmigen Zustand dieser Körper. Wenn man annimmt, dafs diese beiden Zeiten anfangs nur nicht eben sehr stark verschieden waren, so mufsten z. B. bei unserem Monde, so lange er selbst nur eine grofse Dunstkugel war, die der Erde nächsten Theile auch am meisten von der Erde angezogen werden, oder der der Erde zugewendete Halbmesser des dunstförmigen Mondes mufste durch diese Anziehung eine Vergröfserung, eine gegen die Erde gerichtete Verlängerung erleiden. Dadurch wurde der Mond gezwungen, die der Erde zugewendete Hälfte ihr auch im Allgemeinen immer zugewendet zu erhalten, und in Folge der ursprünglichen Verschiedenheit jener zwei Bewegungen, anfangs wohl gröfsere, aber in der Folge immer kleinere Oscillationen um jenen gröfsten Halbmesser zu machen, bis endlich, in der Folge der Zeiten, diese Oscillationen gänzlich vernichtet worden sind, wo uns jetzt der Mond immer genau dieselbe Seite zuzuwenden gezwungen

ist. Man sieht übrigens leicht, dafs diese Gleichheit der Revolution und der Rotation bei den Satelliten der Bildung secundärer Monde und secundärer Ringe, aus den Atmosphären dieser Satelliten, entgegensteht, wie wir denn auch noch keine solche Erscheinungen an den Satelliten unseres Planetensystems durch unsere Beobachtungen entdecken konnten.

L. Dauer des Weltalls.

In dem vorhergehenden Abschnitte haben wir mehrere Eigenschaften unseres Planetensystems kennen gelernt, aus welchen wir, nicht ohne grofse Wahrscheinlichkeit, auf den ursprünglichen Zustand und auf die Art der Entstehung desselben zurückschliefsen konnten. Sollte es nicht auch noch andere Eigenthümlichkeiten in der allgemeinen Anordnung dieses Systems geben, aus welchen wir auch vorwärts, auf die noch künftige Dauer und auf die endliche Auflösung desselben Schlüsse bauen oder doch einigermafsen gegründete Vermuthungen aufstellen könnten? Es müfste uns allen ohne Zweifel sehr interessant seyn, zu erfahren, was mit jenen grofsen Körpern des Himmels zu einer Zeit geschehn soll, wo wir und alles, was uns hier unten umgiebt, schon längst vom Schauplatze abgetreten sind.

Wenn wir sehn, dafs allen Dingen dieser Erde eine meistens nur sehr kurze Dauer ihres Daseyns angewiesen ist, nach welcher sie verschwinden und, wenigstens in dieser Gestalt, nicht mehr wiederkehren; wenn jeder kommende Winter die Gebilde unserer Gärten und Blumen zerstört; wenn zahlreiche Familien und selbst ganze Geschlechter von Thieren bis auf ihre letzte Spur von dieser Erde verschwinden, wenn selbst ganze Völkerschaften und weltbeherrschende Nationen vorüberziehn vor unsern Augen, wie Bilder eines Schattenspiels, und herabstürzen in die ewige Nacht; wenn Alles, was uns umgiebt, unaufhaltsam fortgerissen wird in den Strom der Zeit, so wenden wir uns schaudernd ab von diesen Bildern des Todes und kehren unsere Blicke aufwärts in jene höhern Regionen, um wenigstens dort Trost und Sicherheit für die Zukunft zu finden. Wir finden uns beruhigt, zu glauben, dafs auch dann noch, wenn wir und unsere spätesten Nachkommen längst schon in den Staub zurückgesunken sind, von dem sie ge-

nommen wurden, wenigstens diese Erde und jenes über sie ausgespannte Gewölbe des Himmels noch bleiben und bestehn, dafs dieselbe Sonne und derselbe Mond, dessen Licht uns so oft im Leben erfreute, wenigstens noch unsere Gräber beleuchten werde. Oder soll diese alles zermalmende, unsichtbare Macht sich auch bis dorthin, bis in die ungemessenen Räume des Himmels erstrecken? Soll dieser Mond und diese Sonne und jene Millionen von Sternen, soll alles vergehn und zerfallen, und dermaleinst eine Zeit kommen, in welcher von ihnen dort, wie von uns hier, keine Spur mehr ist?

Kein Sterblicher kann sagen, ob die Erhaltung unseres Planetensystems in der Absicht ihres unendlichen Urhebers gelegen hat. Newton spricht darüber, am Ende seiner Optik, seine Ansicht aus. Nach ihm müssen die gegenseitigen Störungen der Planeten und Kometen in der Folge der Zeiten so grofs werden, dafs sie eine Zerstörung des ganzen Systems herbeiführen würden, wenn dasselbe nicht durch die Hand der Allmacht, die es erschaffen hat, wieder in Ordnung gebracht wird. Dieses scheint uns aber eine dem höchsten Wesen ganz unangemessene, unwürdige Vorstellung zu seyn. Wenn er sein Werk, um es zu erhalten, von Zeit zu Zeit ausbessern mufs, so ist es ein unvollkommenes Werk, und ein solches, müssen wir annehmen, kann nicht von dem vollkommensten aller Wesen ausgehn. Wenn aber die endliche Auflösung jener Himmelskörper, wie die der Thiere und Päanzen unserer Erde, durch das Abnutzen ihrer Theile als Folge des Lebensprocesses in dem Zwecke des höchsten Wesens lag, wozu dann jene Ausbesserung, die doch dem gesetzten Zwecke nur wieder entgegenwirken soll?

Wie sich dieses übrigens auch verhalten mag, wenn wir nicht annehmen dürfen, dafs die Planeten und Kometen sich im absolut leeren Raume des Himmels bewegen, so scheint eine immer weiter gehende Aenderung, ja selbst eine endliche Zerstörung dieses Systems unvermeidlich zu seyn. Jene Annahme eines leeren Raumes aber kann auf keine Weise gestattet werden. Wenn es in dem Weltraume auch keine andere flüssige Materie gäbe, als die, welche zur Existenz des Lichtes nothwendig ist (dieses Licht mag nun, nach der Emissionstheorie, selbst materiell seyn, oder, nach der Undulationslehre,

in den Schwingungen eines überall verbreiteten Aethers bestehn), so ist dieses allein schon hinlänglich, die Bewegungen der Planeten, in einem solchen Medium, in der Folge der Zeiten, und damit die Anordnung des ganzen Systems selbst, gänzlich zu ändern, ja die gegenwärtige Einrichtung desselben ganz aufzuheben, da die endliche Folge eines solchen widerstehenden Mittels das Herabstürzen aller Planeten und Kometen auf die Sonne seyn muſs[1].

Es ist aber, wie man ohne besondere Erinnerung bemerken wird, nicht die Rede von äuſseren, zufälligen Störungen des Planetensystems, die sich nicht voraussehn und also auch nicht berechnen lassen. Wenn plötzlich ein Komet aus den ungemessenen Räumen des Himmels zu uns herniedersteigen und einen unserer Planeten zerstören oder auf seiner Bahn mit sich fortreiſsen sollte, so würde ein solches Ereigniſs, so gewaltsame Folgen es auch haben mag, doch in keinem nothwendigen Zusammenhange mit einer endlichen Zerstörung des ganzen Systems stehn, so wenig, als z. B. ein vom Blitze getödteter Mensch den Untergang der ganzen Gattung dieser Geschöpfe mit Grunde besorgen lassen könnte. Hier werden, der Natur der Sache nach, nur diejenigen Unfälle gemeint, welchen die ganze Maschine, ihrer eigenen Organisation wegen, unterworfen seyn muſs, so wie z. B. die immerwährenden Reibungen und Abnutzungen der menschlichen Maschine sind, aus denen wir leider nur zu gewiſs auf einen endlichen Stillstand, auf den unvermeidlichen Tod derselben schlieſsen. Jene Störungen der Planeten unter sich selbst aber, von denen Newton uns so böse Folgen vorhersagen wollte, lassen keine solche Besorgniſs erwarten. Es ist nämlich bereits an einem andern Orte gesagt worden, daſs sie alle, auch die sogenannten seculären Perturbationen nicht ausgenommen, nur *periodisch* sind, daſs sie in bestimmten Zeiträumen wiederkehren, und daſs sie überdieſs alle sehr klein sind, daher sie auf den eigentlichen *mittleren* Zustand des Systems keinen Einfluſs haben, also auch die Erhaltung desselben auf keine Weise gefährden können.

Es ist bekannt, wie sorgfältig die Natur auf die Erhaltung der einzelnen Individuen ihrer Geschöpfe, und besonders auf

1 S. Art. *Widerstand*, zu Ende, die Gleichungen (S) und die diesen Gleichungen beigefügten Bemerkungen.

die Fortdauer ganzer Geschlechter derselben bedacht ist. Dem Individuum gab sie den Erhaltungstrieb, die Liebe und Anhänglichkeit am Leben, den mächtigsten aller Triebe, die sie in ihre Geschöpfe gelegt hat; die Dauer der Geschlechter aber sicherte sie vorzüglich durch einen an Verschwendung grenzenden Reichthum von den zur Fortpflanzung derselben bestimmten Mitteln. Viele Pflanzen und Thiere enthalten eine solche Profusion von Samen, daſs, wenn auch nur der tausendste Theil desselben zum Keimen gebracht wird, die Fortdauer des Geschlechtes schon vollkommen gesichert ist. Zu demselben Zwecke scheint sie aber noch andere, höhere Einrichtungen getroffen zu haben, welche die ganze Erde, den gemeinsamen Wohnort jener Geschöpfe, betreffen. Die Unveränderlichkeit der beiden Pole auf der Oberfläche der Erde und ebenso die Stabilität des Weltmeeres, die beide zur Erhaltung aller organischen Wesen so nothwendig sind, scheinen von der Natur, jenem Zwecke gemäſs, eingeführt worden zu seyn. Die Rechnung zeigt, daſs jene beiden so wichtigen Einrichtungen nur als ein einfaches Resultat der täglichen Rotation der Erde, verbunden mit der allgemeinen Schwere, erscheinen. Denn durch die Rotation würde die Erde an ihren Polen abgeplattet, wodurch ihre Drehungsaxe eine der drei Hauptaxen des terrestrischen Sphäroids, also eine in ihrer Lage constante Axe geworden ist, und dieser Einrichtung verdanken wir bekanntlich die unveränderliche Gleichheit des Tages und die regelmäſsige jährliche Wiederkehr der Jahreszeiten und Klimate. In Folge der allgemeinen Schwere müſsten sich die schwereren Theile der Erdmasse dem Mittelpuncte derselben nähern, und so kam es, daſs die *mittlere Dichte* der Erde gröſser geworden ist, als die Dichte der die Erdoberfläche bedeckenden Gewässer. Dieser Umstand allein schon ist hinreichend, das Gleichgewicht der Meere unserer Erde für alle Zeiten zu erhalten und der Wuth ihrer Wogen einen wohlthätigen Zügel anzulegen, damit sie nicht mehr aus ihren Gestaden treten und die Inseln und das Festland, die Wohnung unzähliger Thiere und Pflanzen, mit ihren Wellen bedecken können.

Aehnliche Eigenschaften lassen sich aber auch, auſser der Erde, in jenen groſsen Räumen wieder finden, in welchen sich die Planeten unsers Systems bewegen, so daſs es also auch

hier keinem Zweifel unterliegt, dafs die Dauer, die lange und ungestörte Dauer dieses Systems mit in den Zwecken seines Schöpfers gelegen seyn müsse.

Eine der wichtigsten und zugleich am meisten in die Augen fallenden Einrichtungen für diese Absicht besteht darin, dafs die *Massen* der Centralkörper dieses Systems, gegen die Massen der übrigen, so überwiegend grofs sind. Die Masse der Sonne ist über tausendmal gröfser, als die Masse Jupiters, der selbst wieder die gröfste Masse unter allen Planeten hat. Die Masse der Erde übertrifft siebenzigmal die Masse ihres Satelliten, des Mondes. Noch viel gröfser aber ist der Abstand der Massen der Jupiterssatelliten gegen die ihres Hauptplaneten. Der dritte oder gröfste von diesen Satelliten hat eine Masse, die noch nicht den zehntausendsten Theil der Masse Jupiters beträgt. Diese Ueberlegenheit der Centralkörper, diese streng monarchische Einrichtung jenes Systems, nach welcher der Herrscher alle seine Unterthanen an innerer Kraft (denn das ist hier die Masse) so weit übertrifft, diese Einrichtung schützt allein schon das System vor allen Unfällen, die von den innern Störungen und selbst von äufseren Einwirkungen fremder Körper in demselben hervorgebracht werden könnten. Wenn die Wirkung Jupiters auf seine Monde, durch eine Verringerung seiner Masse, sehr verkleinert oder ganz aufgehoben würde, so würden diese Monde, die wir bisher mit einer so bewundernswürdigen Ordnung um ihn sich bewegen sahen, sich sofort in dem Weltraume nach verschiedenen Seiten zerstreuen. Die einen würden sehr excentrische Ellipsen, gleich den Kometen um die Sonne, beschreiben, und die andern würden sich, in hyperbolischen Bahnen, von der Sonne und von dem ganzen Planetensysteme ohne Ende entfernen.

Allein damit begnügte sich, wie es scheint, der Urheber der Natur noch nicht, um seinem grofsen Werke die nöthige Dauer zu geben. Wir haben oben gesehn, dafs die Bewegungen aller Planeten (und dasselbe gilt auch von den Satelliten) in derselben Richtung, von West nach Ost, statt haben, und dafs sie in Bahnen einhergehn, die sämmtlich nur sehr wenig excentrische Ellipsen sind, und deren Ebenen endlich nahe alle zusammenfallen. Aus diesen drei Eigenthümlichkeiten unseres Sonnensystems, die uns oben auf die näheren Umstände der *Entstehung* desselben geführt haben, gehen zugleich wun-

derbarer Weise die Mittel für die *Erhaltung* desselben hervor. Höhere mechanische Betrachtungen haben die Geometer auf einige sogenannte Bedingungsgleichungen geführt, die zwischen den Elementen der Planeten statt haben. Wir wollen dieselben hier kurz anführen. Nennen wir a die halbe grofse Axe der Bahn, und m die Masse eines Planeten, jene in Theilen des Erdbahnhalbmessers, und diese in Theilen der Sonnenmasse ausgedrückt, sey ferner e das Verhältnifs der Excentricität einer Bahn gegen die grofse Halbaxe derselben, n die Neigung dieser Bahn und k die Länge des aufsteigenden Knotens derselben in Beziehung auf die Ekliptik; für einen zweiten und dritten Planeten wollen wir dieselben Gröfsen a, m, e, n und k durch einen, durch zwei Striche u. s. w. bezeichnen, und der Kürze wegen das Product $m\sqrt{a} = b$, also auch $m'\sqrt{a'} = b'$, $m''\sqrt{a''} = b''$ u. s. w. setzen. Dieses angenommen, haben wir für die erwähnten Bedingungsgleichungen folgende Ausdrücke:

$$b.e^2 + b'.e'^2 + b''.e''^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots = \text{Const.}$$

$$b.\text{Tang.}^2 n + b'.\text{Tang.}^2 n' + b''.\text{Tang.}^2 n'' + \ldots = \text{Const.}$$

$$b.\text{Tang.}\, n\, \text{Sin.}\, k + b'.\text{Tang.}\, n'\, \text{Sin.}\, k' + b''.\text{Tang.}\, n''\, \text{Sin.}\, k'' + \ldots\ldots = \text{Const.}$$

$$b.\text{Tang.}\, n\, \text{Cos.}\, k + b'.\text{Tang.}\, n'\, \text{Cos.}\, k' + b''.\text{Tang.}\, n''\, \text{Cos.}\, k'' + \ldots\ldots = \text{Const.}$$

Diese Gleichungen zeigen also vorerst, dafs die Summe der Producte, aus welchen die einzelnen Glieder dieser Gleichungen bestehn, nämlich der Producte von b in die Quadrate von e, oder in die Quadrate von Tang. n u. s. w. für alle Planeten zusammengenommen, gleich einer gewissen *constanten* Gröfse ist. Allein unser Planetensystem ist zweitens ohne Zweifel nicht blofs zufälliger Weise so beschaffen, dafs alle diese vier Constanten, wenigstens so wie die Sachen *jetzt* stehn, durchaus gegen die Einheit nur sehr *kleine* Gröfsen sind. Denn bei jeder einzelnen Planetenbahn sind die Massen m, m', m''... gegen die Sonnenmasse ganz ungemein klein, so dafs also schon deswegen auch jene Producte nur sehr klein seyn könnten, selbst wenn ihre übrigen Factoren bedeutend gröfsere Zahlen, gegen die Einheit, seyn sollten; dieses ist aber so wenig der Fall, dafs vielmehr diese andern Factoren gewöhnlich wieder nur sehr kleine Brüche bezeichnen. So ist z. B. die Excentricität e

bei allen Planetenbahnen nur klein, und daher ihr Quadrat noch viel kleiner. Dasselbe gilt auch von den Neigungen n der Planetenbahnen gegen die Ekliptik, also auch von ihren Tangenten. Drittens ist aus der Theorie der Perturbationen bekannt, daſs die Excentricitäten, die Neigungen und die Knotenlängen der Planeten zwar allesammt veränderlich sind, daſs aber diese Veränderungen keineswegs progressiv ohne Ende fortgehn, sondern daſs sie vielmehr, gleich den Bewegungen eines Pendels, in bestimmte, meistens sehr enge Grenzen eingeschlossen sind, zwischen welchen sie in dem Laufe der Zeiten ihre auf- und niedergehenden Schwingungen machen, ohne jene Grenzen je zu überschreiten, d. h. also mit andern Worten: jene Producte, die jetzt nur klein sind, sind auch immer nur klein gewesen und werden es auch in der Folge bleiben.

Wenn daher viertens alle diese Producte zugleich durchaus *positive* Gröſsen bezeichnen, so folgt aus dem Vorhergehenden sofort, daſs auch die vier oben erwähnten Constanten für alle Zeiten nur kleine Gröſsen gegen die Einheit seyn können, weil alle einzelne Glieder, aus welchen sie bestehn, nur solche ebenfalls sehr kleine Gröſsen sind. Dieser Schluſs würde aber nicht mehr gelten, wenn einige dieser Glieder auch negative Werthe haben können, weil dann die Kleinheit der einzelnen Glieder jener Gleichungen offenbar nicht mehr nothwendig wäre, um dadurch auch schon ihre Summe (d. h. die Constanten jener Gleichungen) zu solchen kleinen Gröſsen zu machen. Allein die schon öfter erwähnte Eigenthümlichkeit unseres Systems, nach welchem nämlich alle Planeten desselben sich nach einer *gemeinschaftlichen* Richtung von West nach Ost bewegen, führt, durch den Gang der mathematischen Analysis dieses Problems, auf die Vorschrift, daſs von den doppelten Zeichen der Quadratwurzeln $\sqrt{a}$, $\sqrt{a'}$, $\sqrt{a''}$..., die in jedem Gliede jener Gleichungen enthalten sind, *nur die positiven* genommen werden sollen.

Da also die vier Constanten der vorhergehenden Gleichungen gegen die Einheit nur kleine Gröſsen sind, und, eben weil sie Constanten sind, auch solche kleine Gröſsen bleiben, so müssen auch alle ihre Glieder auf der linken Seite des Gleichheitszeichens, obschon sie an sich veränderlich sind, doch immer selbst nur kleine Gröſsen seyn und bleiben, oder mit andern Worten, wie aus den beiden ersten jener Gleichungen

unmittelbar folgt, die Excentricitäten und die Neigungen der Planetenbahnen können sich nie sehr weit von denjenigen Werthen, die sie gegenwärtig haben, entfernen, oder endlich, das ganze Planetensystem ist, durch seine ihm eigenthümliche Einrichtung, gezwungen, sich immer um einen gewissen mittlern Zustand desselben zu bewegen, und *in ihm selbst* liegt nichts, was auf eine gröſsere Störung seines Gleichgewichtes, oder auf eine endliche Zerstörung oder Auflösung desselben führen könnte.

Wir haben bisher unter den Störungen der Elemente der Planetenbahnen vorzüglich die Excentricität, die Neigung und die Knoten derselben betrachtet. Allein es giebt noch zwei andere, die eine eigene, nähere Untersuchung verdienen.

Die erste ist der *Ort des Perihels* oder die Lage der groſsen Axe im Weltraum. Diese Lage der *Apsiden* [1] macht unter allen übrigen Elementen der Planetenbahnen eine merkwürdige Ausnahme. Sie ist nämlich das einzige Element, welches mit der Zeit immer progressiv fortgeht, oder mit andern Worten, die Länge des Perihels durchläuft allmälig alle 360 Grade der Peripherie, während alle übrigen Elemente, die Excentricität, die Neigung, die Knotenlänge u. s. w. nur zwischen zwei bestimmten, meistens sehr engen, Grenzen periodisch auf und nieder gehen. Wegen der Aenderung dieser übrigen Elemente ist zwar die Bewegung der Apsiden bald etwas langsamer, bald wieder geschwinder, aber dessen ungeachtet gehen sie bei allen Planeten, in Beziehung auf die Nachtgleichen, immer vorwärts, so daſs sie sich von diesen Nachtgleichen auf derselben Seite mit der Zeit immer mehr und mehr entfernen. Allein glücklicher Weise hat eben *nur* bei diesem Elemente ein immerwährender Fortgang nach derselben Richtung auf den Zustand und die Dauer des Systems keinen wesentlichen Einfluſs, da es offenbar ganz gleichgültig ist, nach welchen Fixsternen die Apsidenlinie gerichtet seyn mag, um so mehr, da die Planetenbahnen alle ohnehin nur sehr wenig von der Kreisgestalt verschieden, und da sie unter einander durch so groſse Intervalle getrennt sind, so daſs die gegenseitige Lage der Planeten unter einander durch eine veränderte Lage der Apsiden nur unmerklich geändert werden kann. Ganz anders verhält es sich mit den drei andern Elementen. Denn wenn z. B. die Knoten

1 S. Art. *Apsiden*. Bd. I. S. 347.

zweier Planetenbahnen, oder wenn die Ebenen dieser Bahnen selbst zusammenfallen könnten, so würden sich diese Planeten, wenn ihre Excentricitäten stark geändert werden, nahe kommen, einander gewaltsam stören, und dadurch die Existenz des Systems selbst gefährden können. Oder wenn auch nur die Excentricität allein immer gröſser würde, so würden die Bahnen sehr längliche Ellipsen werden und die Planeten endlich zu nahe bei der Sonne vorübergehn. Selbst die Oberfläche der Planeten, und mit ihr alle Geschöpfe auf derselben, würden den nachtheiligen Einfluſs einer solchen immerwährenden Aenderung der Excentricität zu beklagen haben. Es läſst sich nämlich durch Rechnung zeigen, daſs der mittlere jährliche Betrag von Licht und Wärme, den die Sonne der Oberfläche jedes Planeten spendet, der kleinen Axe der elliptischen Bahn dieses Planeten proportional, also von der Gröſse der Excentricität abhängig ist, so daſs also, durch eine solche Aenderung der Excentricität, endlich auch die mittlere Temperatur der Oberfläche des Planeten und die Beschaffenheit seiner Jahreszeiten eine völlige Aenderung erleiden würde.

Ganz anders aber verhält es sich mit dem letzten der hier zu betrachtenden Elemente, mit der *groſsen Axe* der Planetenbahn selbst. Es ist nicht schwer, sich zu überzeugen, daſs jede auch noch so geringe Aenderung in dem absoluten Werthe dieser Axe nicht mehr, wie bei den übrigen Störungen, in einem bloſsen periodischen Ab- und Zunehmen bestehen könnte, sondern daſs sie sich nothwendig mit der Zeit immer mehr anhäufen müſste. Wir haben oben gesehen, daſs es von der Geschwindigkeit, die ein Planet in den beiden Puncten seiner Apsiden hat, abhängt, ob die Bahn desselben eine Ellipse, eine Parabel oder eine Hyperbel seyn soll. Ist nämlich (wie oben Abschn. D) $\mu = 0{,}01720$ die Charakteristik des ganzen Planetensystems, a die halbe groſse Axe der Bahn und r die Entfernung des Planeten in seiner Bahn von dem Mittelpuncte der Sonne, so hat man für die Geschwindigkeit v des Planeten in jedem Puncte seiner Bahn den Ausdruck

$$v = \mu \sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}}.$$

Für das Perihel ist $r = a(1 - e)$, also auch die Geschwindigkeit V im Perihel

$$V = \frac{\mu}{\sqrt{a}} \cdot \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}.$$

Für die Erde hat man a = 1 und e = 0,01678, also ist auch die Geschwindigkeit der Erde in ihrem Perihel während einer Zeitsecunde

$$V = 0{,}017493,$$

oder endlich

$$V = 4{,}17 \text{ geogr. Meilen},$$

deren 15 auf einen Grad des Aequators der Erde gehn. Jetzt also ist die Geschwindigkeit der Erde in ihrem Perihel während einer Secunde 4,17 Meilen, und eben darum beschreibt sie auch die Ellipse um die Sonne, in welcher sie sich gegenwärtig in der That bewegt. Eine obgleich andere, mehr excentrische Ellipse würde sie auch noch beschreiben, wenn jene Geschwindigkeit im Perihel etwas gröſser wäre, als 4,17, wenn sie selbst noch 5,84 Meilen in einer Secunde betrüge. Wenn diese Geschwindigkeit aber noch weiter wächst, so beschreibt sie keine Ellipse mehr. Beträgt nämlich die Geschwindigkeit 5,85 Meilen in einer Secunde, d. h. nimmt die halbe Axe a der Erdbahn so weit ab, daſs der Werth von V in der obigen Gleichung

$$V = \mu \cdot \sqrt{\frac{1+e}{a(1-e)}},$$

gleich 5,85 wird, so geht, für diesen speciellen Werth von a, die Erdbahn plötzlich in eine *Parabel* über, und wenn die Gröſse V noch weiter bis ins Unendliche wächst, so geht die Erdbahn sogar in eine *Hyperbel* über, und in allen diesen letzten Fällen entfernt sie sich auf ihrer nicht mehr geschlossenen Bahn immer weiter von der Sonne, bis sie endlich in das Attractionsgebiet anderer Sonnen gelangt und unserm Systeme für alle Folgezeiten ganz fremd bleibt.

Aehnliche Betrachtungen gelten auch für alle übrigen Planeten. Die geringste Aenderung der groſsen Axen ihrer Bahnen würden diese Planeten entweder in hyperbolischen Curven ganz auſser dem Bereiche unserer Sonne bringen, oder auch, im entgegengesetzten Falle, diese Planeten in die Sonne stürzen. Beide Ereignisse könnten aber für die gegenwärtige Einrichtung und für die weitere Dauer des Systems nur von sehr verderblichen Folgen seyn.

Durch eine wunderbare Einrichtung ist aber eben dieses Element, die *grofse Axe* a der Bahn, zugleich das einzige, welches durchaus keine Veränderung erleidet und immer denselben Werth behält, was dann natürlich auch von der siderischen Umlaufszeit T gilt, die nach Kepler's drittem Gesetze durch die Gleichung

$$\mu = \frac{2\pi \cdot a^{\frac{3}{2}}}{T}$$

blofs von dieser grofsen Axe abhängig ist.

Diese äufserst merkwürdige Beständigkeit der grofsen Axe der Planetenbahnen ist ein reines Resultat der höheren mathematisch-mechanischen Rechnungen, und dasselbe wird durch die Beobachtungen auf das Vollkommenste bestätigt. Es ist in einem der vorhergehenden Artikel gezeigt worden, dafs die Umlaufszeiten der Planeten durch Vergleichung der ältesten Beobachtungen mit denen der neuern Astronomen auf das Schärfste bestimmt werden können, und nach diesen Bestimmungen sind jene Umlaufszeiten, also auch jene grofsen Axen der Bahnen, durchaus constant gefunden worden. Es ist aber dieses, wie man sieht, eine der schönsten und wichtigsten Entdeckungen, welche die Sternkunde den neuern Fortschritten der mathematischen Analysis verdankt, und die uns zugleich lehrt, dafs unter den trockenen Zahlen, mit welchen sich die höhere Geometrie beschäftigt, oft die gröfsten Geheimnisse der Natur verborgen liegen. Diese Analysis giebt nämlich für den allgemeinen Ausdruck der Störungen der grofsen Axe einer jeden Planetenbahn eine Reihe von vielen Gliedern, deren jedes die Wirkung enthält, welche jeder einzelne der andern Planeten auf den einen gestörten ausübt. Wenn man aber in diesen Ausdrücken für die allgemeinen Zeichen diejenigen Zahlen substituirt, die jeder dieser störenden Planetenbahnen eigenthümlich zukommen, so sieht man mit Verwunderung, dafs *alle* Glieder jener Reihe sich gegenseitig aufheben, d. h. dafs die grofse Axe einer jeden Planetenbahn durch die Einwirkung aller übrigen *keine* Störung erleidet.

Durch welche Mittel aber hat die Natur diesen für die Erhaltung ihres grofsen Werkes so wichtigen Zweck erreicht? Durch eine Einrichtung, die auf den ersten Blick eben so geringfügig als zufällig erscheint. Die Umlaufszeiten, also auch

die grofsen Axen, sind nämlich von der Natur so eingerichtet worden, *dafs sich je zwei derselben durch ganze Zahlen nicht genau ausdrücken lassen*, oder, wie man kürzer zu sagen pflegt, dafs die Verhältnisse der Umlaufszeiten der Planeten unter einander *irrational* sind. Diese wenigen Worte enthalten das ganze Geheimnifs, durch welches die Natur ihrem Werke das Siegel der immerwährenden Dauer aufgedrückt hat; durch diese einfache Einrichtung, dafs sie hier, wie beinahe in allen ihren Operationen, die Irrationalzahlen, die sie besonders zu lieben scheint, gewählt hat, durch diese, wie es uns scheint, so geringfügige Einrichtung hat sie ihren grofsen Zweck, die Erhaltung des Ganzen, erreicht. An einem so feinen Faden hängt also die Dauer unseres ganzen Planetensystems, und so wenig schien es der Natur zu kosten, ihr grofses Gebäude vor jedem Unfall zu bewahren. Die Umlaufszeit Jupiters beträgt nahe 4332 und die des Saturn 10759 Tage. Diese beiden Zahlen verhalten sich nahe wie die zwei ganzen Zahlen 2 und 5. Wenn sich aber jene Umlaufszeiten *genau* wie 2 zu 5 verhielten, so würde, wie die Perturbationsrechnungen zeigen, aus der gegenseitigen Einwirkung dieser zwei gröfsten Planeten unseres Systems eine immer fortgehende Aenderung der grofsen Axen ihrer Bahnen folgen, und diese beiden Planeten würden nicht nur sich selbst, sondern am Ende auch alle übrigen Planeten zerstören. In der That hat schon der Umstand, dafs diese beiden Umlaufszeiten sich nur nahe wie 2 zu 5 verhalten, sehr grofse Störungen dieser zwei Planeten unter einander zur Folge, Störungen, die nahe ein ganzes Jahrtausend umfassen, und nach welchen *jetzt* Jupiter sich immer mehr von der Sonne entfernt, während Saturn sich ihr nähert.

Diese Einrichtungen also, dafs die Centralkörper unseres Systems so überwiegende Massen haben, dafs die Bewegungen aller Planeten um die Sonne, und ebenso aller Satelliten um ihre Hauptplaneten, nach *derselben* Richtung vor sich gehn, dafs die Bahnen aller dieser Körper nahe kreisförmig sind und es auch immer bleiben müssen, und dafs endlich die Umlaufszeiten derselben unter sich incommensurabel sind, diese bewunderungswürdigen Einrichtungen unseres Sonnensystems zeigen uns, dafs die Elemente desselben durch eine höhere Weisheit zu einem Zwecke angeordnet worden sind, der auf eine grofse Stabilität des Systems und auf eine sehr lange Dauer desselben schliefsen

läfst, und dafs wenigstens in ihm selbst nichts gefunden werden kann, woraus man die Ursache seiner künftigen Auflösung ableiten könnte.

Nach allen diesen Betrachtungen scheint es daher, dafs der höchstweise Urheber der Natur alles so eingerichtet habe, um die Dauer seines grofsen Werkes zu sichern, und dafs er in der Anlage zu dem ganzen Sonnensystem von denselben Ansichten ausgegangen ist, welche er auf unserer Erde, auf eine nicht minder wundervolle Weise, für die Erhaltung der Individuen sowohl als auch für die von ganzen Geschlechtern seiner Geschöpfe beobachtet hat.

Wenn aber auch die Dauer von vielen Millionen Jahren verbürgt und vollkommen gesichert wäre, eine noch so lange Dauer ist noch immer keine *ewige Dauer*, und *diese* ist durch nichts verbürgt, wenigstens steht sie aufser dem Bereich aller menschlichen Erkenntnifs. Eine endliche Zerstörung oder doch eine gänzliche Umwandlung des Sonnensystems kann ebenso, wie die immerwährende Erhaltung desselben, in dem uns unbekannten Rathschlusse Desjenigen liegen, vor dem Tausende von Jahrhunderten nur ein Augenblick sind. Auf unserer Erde wenigstens, die uns noch am wenigsten unbekannt ist, finden wir nichts, was uns zu der Erwartung einer ewigen Dauer berechtigen könnte. So viele Geschlechter von Thieren und Pflanzen, deren Reste wir in zahlreichen Lagern von Versteinerungen erkennen und die nun gänzlich von der Erde verschwunden sind, und so viele Denkmäler von weitverbreiteten Verwüstungen, welche diese Erde in der Vorzeit erlitten hat, zeigen sie uns nicht eine Neigung der Natur, alles zu verändern, selbst dasjenige, dem sie, wie es uns scheint, das Siegel der längsten Dauer aufgedrückt hat? Dafs die Sonne mit allen ihren Planeten und Kometen uns gröfser und wichtiger scheint, als die Erde, das wird den Urheber der Natur, der nach andern Mafsen mifst, nicht bestimmen, bei jenen Körpern eine Ausnahme von den allgemeinen Gesetzen zu machen. Sie sind nur so grofs, weil wir selbst so klein sind, und das ganze Planetensystem ist doch, im Vergleich mit der übrigen Welt, nur ein unmerkbarer Punct. Wir haben oben mehrere Sterne kennen gelernt, deren Farbe und Helligkeit sich periodisch ändert; andere sind sogar plötzlich verschwunden, nachdem sie zuvor durch eine längere Zeit in hellen Flammen aufzulodern schienen. Welche aufser-

ordentlich gewaltsamen Veränderungen müssen auf diesen grofsen Körpern vorgegangen seyn, um uns in diesen Entfernungen noch ein solches Schauspiel zu gewähren? Also auch dort oben, in den hohen Räumen den Himmels, sehn wir die Natur zwar für die Erhaltung aller geschaffenen Wesen Vorsicht und Sorge tragen, aber auch zugleich sehn wir dieselben Wesen, wenn ihre Bestimmung erreicht ist, abtreten von dem Schauplatze, um die von ihnen eingenommenen Stellen ihren Nachfolgern zu überlassen. Dieselben Wechsel und dieselben immer wiederkehrenden Bilder der Geburt und des Todes, die uns hier unten auf der Erde umgeben, treten überall in den ungemessenen Regionen des Weltalls wieder auf. Wo immer in dem unermefslichen Gebiete der Schöpfung Wachsthum und Zunahme bemerkt wird, da sieht man auch Abnahme und Tod; wo immer im Wechsel der Dinge Fortgang ist, da ist auch Untergang, und was einen Anfang genommen hat, mufs nach den ewigen Gesetzen der Natur, in der Folge der Zeiten, auch sein Ende finden. Alles, was Körper und sonach sterblich ist, eilt, wenn es seine Zeit gedauert und seine Bestimmung erfüllt hat, der Auflösung entgegen, von der es durch keine Kraft zurückgehalten werden kann. Sowie auf den Gipfeln unserer Berge und in den Abgründen der Erde die Versteinerungen und Ueberreste der Thiere und Pflanzen einer längst verschwundenen Vorwelt zerstreut liegen, so werden auch einst die morschen Trümmer jenes grofsen himmlischen Baues über uns in dem Weltraume zerstreut werden. Diese Sonne wird erlöschen und die zahllosen Sterne des Himmels werden vergehen, und an ihrer Stelle werden sich andere erheben, die auch wieder, wenn sie ausgeblüht haben, abfallen werden, wie welke Blätter, mit denen die Winde spielen, und dieselbe Welle, die sie so lange getragen und endlich auch herunter gezogen hat in die Tiefe des Weltenmeeres, dieselbe Welle wird aus dem Abgrunde der ewigen Nacht andere Sonnen und Sterne heraufführen, immer neue Schöpfungen, im ewigen Wechsel, von immer neuem Untergange gefolgt. *Einer* nur, den kein Name nennt, steht hoch und unverändert über diesem Ocean der Welten, der zu den Füfsen seines Thrones wogt, Er allein kennt keinen Wechsel, keine Gröfse aufser sich, und Er, vor dem der Tod einer ganzen Welt gleich dem der Milbe ist, wird, von allem, was da war und werden wird, allein unwandelbar und ewig bleiben. *L.*

Weltgegenden.

Plagae mundi; Points cardinaux, Plages; *Cardinal Points.* Man theilt den Horizont, nach der alten Art der Schiffer, in 32 gleiche Theile, die man auch die 32 Winde nennt. Die Figur zeigt die Namen dieser 32 Puncte des Horizonts, die offenbar von deutschen oder holländischen Schiffern herrühren. Sie ist, wie man sieht, nicht eben die bequemste, die man wählen konnte. Die Astronomen theilen den Horizont, wie jeden andern Kreis, in 360 Grade, indem sie von Süd gen West hin in derselben Richtung bis wieder nach Süd fortzählen und die so beschriebenen Bogen des Horizonts *Azimuthe* nennen, was offenbar viel einfacher und bequemer zugleich ist. Für die Schifffahrt möchte es am angemessensten seyn, den Horizont in 24 gleiche Theile oder *Stunden*, zu theilen, wie dieses z. B. die Astronomen mit dem Aequator zu thun pflegen. Dann würde z. B. Fig. 164.

SW	durch	3^h
W	—	6
NW	—	9
N	—	12
NO	—	15
O	—	18
SO	—	21

bezeichnet werden; weiter wäre

$$SgW = 0^h\ 45'$$
$$SSW = 1\ \ 30$$
$$SWgS = 2\ \ 15$$
$$SW = 3\ \ 0$$
$$SWgW = 3\ \ 45 \text{ u. s. f.}$$

In solche 24 gleiche Theile sollen die Römer[1] den Horizont getheilt haben, um die Richtung der Winde danach zu benennen, welchen letzteren sie aber auch mehrere eigene Namen gegeben haben.

Da ein so eingetheilter Kreis, den man auch die *Windrose* zu nennen pflegt, sich auf die Lage des Meridians an jedem Orte der Erde bezieht, so hat es wohl in früheren Zeiten Ge-

1 S. Riccioli Almag. novum. T. II. p. 17.

lehrte gegeben, wie WALLIS, PICARD u. a., welche die Richtung des Meridians einzelner Orte der Erde, also auch die Windrose für diese Orte, für veränderlich gehalten haben. Allein alle neueren theoretischen und praktischen Untersuchungen stimmen damit überein, dafs für jeden Ort der Oberfläche der Erde die Richtung des Meridians, sowie die Polhöhe desselben, ebenso unveränderlich ist, als es die Rotation der Erde um ihre Axe (oder der Sterntag) und die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne in Beziehung auf die Fixsterne (oder das siderische Jahr) nur immer seyn können. *L.*

Weltpole.

Himmelspole oder Pole des Aequators; *Poli mundi, Poli coelestes;* Poles du monde ou de l'équateur; *Poles.* So nennt man die beiden Puncte des Himmels, die von allen Puncten des Aequators gleich weit oder um 90 Grade abstehn, und die daher, bei der täglichen Umdrehung des Himmels, von allen Puncten desselben allein nicht bewegt werden. Diese Pole sind auch als die Endpuncte der zu beiden Seiten verlängerten Rotationsaxe der Erde zu betrachten. Wer aufser dem Aequator der Erde wohnt, kann daher nur einen dieser beiden Pole am gestirnten Himmel sehn, da ihm der andere unsichtbar oder unter seinem Horizonte ist. Die Bewohner des Aequators aber sehn die beiden Pole in ihrem Horizonte liegen. Der uns, den Bewohnern der nördlichen Hemisphäre, sichtbare Pol heifst auch der *nördliche Pol* (*Polus septentrionalis vel arcticus,* von ἄρκτος, Bär, weil er dem Sternbilde des Bären sehr nahe steht); der andere heifst der *südliche Pol* (*Polus australis vel antarcticus*). Gröfste Kreise durch die Weltpole stehn auf dem Aequator senkrecht, und heifsen Abweichungs- oder Declinations- oder auch Stundenkreise [1].

Da die tägliche Rotationsaxe der Erde, als eine freie Drehungsaxe, immer durch dieselben Puncte des Erdsphäroids geht, so sind die beiden Pole des Aequators auf der Oberfläche

---

1 S. Art. *Stundenkreise.* Bd. VIII. S. 1221.

der Erde *unveränderlich*, wie man auch schon daraus sieht, daſs die *Polhöhen* (geographischen Breiten) der Beobachtungsorte der Erde, den genauesten Beobachtungen gemäſs, immer dieselben bleiben. Allein die Pole des Aequators, auf der Oberfläche des Himmels, sind *veränderlich*, indem sie mit der Zeit von einem Fixsterne znm andern fortschreiten, und zwar in Folge der Präcession und der Nutation[1]. Denkt man sich die Erde als eine mit einem Stabe (der Erdaxe) durchbohrte Kugel, um welche sich die Erde täglich einmal herum dreht, so geht dieser Stab immer durch dieselben zwei Puncte der Oberfläche jener Kugel, aber die Verlängerung dieses Stabes, zu beiden Seiten der Erdpole, geht nicht immer durch dieselben Fixsterne des Himmels. Dieser Stab, um den sich die Erde dreht, steht nämlich nicht fest im Weltraume, so wenig als der irdische Aequator der Erde, sondern beide haben, sammt der ganzen Erde, eine eigene Bewegung (in welcher eben die Präcession und Nutation besteht), vermöge welcher Bewegung die Pole und der Aequator am Himmel immer durch andere Sterne gehn, während die Pole und der Aequator der Erde selbst stets an dieselben Puncte der Oberfläche der Erde gebunden sind. Jetzt steht z. B. der Nordpol des Himmels nahe $1^{d}\,35'$ von dem Stern α des kleinen Bären entfernt, daher dieser Stern (da kein gröſserer jetzt dem Pole so nahe ist) *Polarstern* genannt wird. Allein im J. 2700 vor Chr. G. war der Nordpol dem Stern α Draconis am nächsten, daher dieser letzte zu jener Zeit auf die Benennung des Polarsterns Anspruch machte, und im J. 4100 nach Chr. G. wird γ Cephei diesen Namen tragen, der später noch auf α Cephei, auf α Cygni, und endlich, 14000 Jahre nach Chr. G., sogar auf α Lyrae übergehn wird, welcher letztere Stern jetzt noch volle 51 Grade von dem gegenwärtigen Orte des Nordpols am Himmel entfernt ist. *L.*

---

1 S. Art. *Vorrücken der Nachtgleichen*. Bd. IX. S. 2129.

Weltsystem.

Weltsystem, Weltordnung, Sonnen- oder Planetensystem; *Systema mundi v. cosmicum, Systema solare v. planetarium;* Système du monde, Système solaire ou planétaire; *Solar System.*

Unter diesen Worten versteht man die Anordnung derjenigen Himmelskörper, welche sich um die Sonne bewegen, also der Planeten, Satelliten und Kometen. Das Wort *Welt* wird nämlich beinahe in allen Sprachen in einer dreifachen Bedeutung gebraucht. In der ersten und allgemeinsten umfaſst es das Universum oder alle Körper des Himmels und der Erde. In der zweiten, und dieses ist die hier gebrauchte, bezieht es sich bloſs auf diejenigen Himmelskörper, die sich um die Sonne bewegen. In der dritten endlich ist dieses Wort gleichbedeutend mit *Erde* oder mit dem von uns bewohnten Planeten, daher, im letztern Sinne, die Worte Welttheile, Weltgeschichte u. s. w. zu den gebräuchlichen gehören.

Man hat über diese Anordnung der Körper unsers Sonnensystems in verschiedenen Zeiten verschiedene Systeme oder Hypothesen aufgestellt, von welchen wir die vorzüglichsten hier näher anführen wollen. Die ältesten derselben, die wir von den Aegyptiern und Griechen erhalten haben, beziehn sich nur auf die gegenseitigen Entfernungen oder Stellungen der Planeten gegen die Sonne, und dieses gilt selbst noch von dem durch Copernicus aufgestellten Systeme. In allen diesen Hypothesen werden die Bahnen der Planeten als kreisförmig angenommen, und es fragt sich nur, wo man für jeden dieser Kreise seinen Mittelpunct und wie groſs man seinen Halbmesser annehmen soll. Erst Kepler zeigte uns, daſs diese Kreishypothese falsch sey, und daſs sich jene Himmelskörper nicht in Kreisen, sondern in Ellipsen oder eigentlich in Linien der zweiten Ordnung bewegen, deren einen Brennpunct die Sonne einnimmt. Derselbe Kepler lehrte uns zugleich, nach welchen Regeln die Bewegung eines jeden dieser Körper in seiner elliptischen Bahn vor sich geht, so wie auch, durch welches Band diese Bahnen alle unter sich zusammenhängen. Dadurch waren

die Erscheinungen, welche uns die Bewegungen dieser Planeten darbieten, der Wahrheit, d. h. den Beobachtungen gemäfs dargestellt, und es war nur noch die *Ursache* dieser Erscheinungen, der eigentliche *Grund* jener von Kepler aufgestellten Regeln zu finden übrig. Und diesen Grund entdeckte Newton, indem er den Satz aufstellte, und zugleich durch Rechnung bewies, dafs alle diese Erscheinungen, so mannigfaltig und verwickelt sie auch seyn mögen, die bloſse Folge eines einzigen höchst einfachen Gesetzes, der *allgemeinen Gravitation*, sind. Dadurch wurde den Bemühungen des menschlichen Geistes, die Phänomene des ihn zunächst umgebenden Himmels zu erklären, die Krone aufgesetzt, und fortan handelt es sich nicht mehr um weitere Veränderungen oder Verbesserungen dieses von Copernicus, Kepler und Newton aufgestellten Weltsystemes, das man nur zu kennen braucht, um es auch sofort als das einzig wahre zu erkennen, sondern nur um die weitere Ausbildung der einzelnen Theile des grofsen und für alle Zukunft unabänderlich festgestellten Ganzen durch feinere Beobachtungen sowohl, als auch durch eine tiefer dringende mathematische Analyse, die, eine Folge der Zeit und der allmäligen Ausbildung, dem unsterblichen Entdecker jenes nun nicht weiter zu verlassenden Weges noch nicht gegönnt seyn konnte.

Ehe wir aber diejenige Hypothese, durch welche die Alten die Erscheinungen des Sonnensystems darstellen wollten, näher anführen, müssen wir diese Erscheinungen selbst in Kürze erwähnen. Schon eine geringe Aufmerksamkeit auf die Bewegungen der Planeten mufste dieselben so unordentlich und so verwickelt zeigen, dafs man sie unmöglich für die wahren Bewegungen derselben, sondern dafs man sie blofs für scheinbare, gleichsam für eine optische Täuschung halten mufste. Es kam also darauf an, eine Hypothese aufzufinden, durch welche diese sonderbaren Erscheinungen auf irgend eine einfache, dem Verstande genügende Weise erklärt werden konnten.

Der ganze Himmel scheint sich mit allen seinen Gestirnen täglich einmal von Ost gen West um uns zu drehen. Während dieser allen Himmelskörpern gemeinschaftlichen Bewegung aber bemerkte man mehrere derselben, die eine eigene Bewegung und zwar meistens in entgegengesetzter Richtung, von West gen Ost, zeigten. Die Sonne z. B. bewegte sich täglich nahe einen Grad östlich von den Fixsternen, der Mond

sogar dreizehn Grade in derselben Richtung. Dazu sah man diese beiden auffallendsten Gestirne des Himmels bald über, bald wieder unter denjenigen Fixsternen, welche den himmlischen Aequator bilden. Die abwechselnden Lichtgestalten des Mondes, die öfter eintretende Verdunkelung desselben zur Zeit seines vollen Lichtes, ähnliche Verfinsterungen der Sonne zur Zeit des Neumonds, selbst die auffallenden Veränderungen der Tageslängen und der Jahreszeiten und so viele andere, immer regelmäſsig wiederkommende Erscheinungen hingen offenbar mit jenen Bewegungen der beiden genannten Gestirne zusammen, nur hielt es schwer, diesen Zusammenhang anfzufinden. Noch weit schwerer aber schien die Erklärung derjenigen Phänomene zu seyn, welche man an mehrern andern, ebenfalls zwischen den fixen Sternen des Himmels sich bewegenden Sternen, an den Planeten, beobachtet. Drei derselben, Mars, Jupiter und Saturn, die man schon bei dem ersten Anblick durch ihr eigenthümliches Licht von den übrigen Fixsternen unterscheiden konnte, gingen sämmtlich ostwärts, so lange sie auf derselben Seite des Himmels, wie die Sonne waren, und zwar desto geschwinder, je näher sie der Sonne selbst waren. Je weiter sie aber sich von ihr entfernten, desto langsamer wurde ihre östliche Bewegung, und endlich schienen sie sogar einige Tage völlig unter den Fixsternen still zu stehn. Bald darauf aber nahmen sie eine retrograde, gen West gerichtete, Bewegung an, die immer gröſser und endlich am gröſsten wurde, wenn sie der Sonne gerade gegenüberstanden, oder wenn sie, zur Zeit ihrer *Opposition*, um Mitternacht in der Mitte des sichtbaren Himmels oder im *Meridian* standen. Von da nahm ihre retrograde Bewegung wieder ab, bis sie in derselben Entfernung von der Sonne, wie zuvor, wieder einige Zeit stille standen und dann eine immer schneller werdende directe Bewegung annahmen, die wieder am gröſsten war, wenn sie der Sonne am nächsten standen, oder wenn sie zur Zeit ihrer *Conjunction* mit der Sonne zugleich durch den Meridian gingen.

Zwei andere solche bewegliche Himmelskörper, Venus und Mercur, zeigten ähnliche und wohl noch gröſsere Unordnungen in ihrer Bewegung, nur mit dem Unterschiede, daſs sie sich nicht, wie jene drei, um den ganzen Himmel von der Sonne entfernten, sondern daſs sie immer in der Nähe dieses Gestirns blieben. Auch sie gingen bald östlich, bald westlich, bald

standen sie wieder völlig still, und alle ohne Ausnahme erschienen dem Auge des Beobachters am gröſsten, wenn sie am schnellsten rückwärts, gen West, gingen, und am kleinsten zu der Zeit, wo ihre directe oder östliche Bewegung am gröſsten war. Um dieses durch eine graphische Darstellung anschaulich zu machen, zeigt die Figur den Lauf der Sonne und des Planeten Mercur, wie beide von der Erde für die Monate Februar bis September 1835 gesehn wurden. Die gerade Linie 00 stellt den Aequator vor, auf welchem die Rectascensionen in Stunden 1, 2, 3, 4.... genommen sind, deren jede 15 Grade enthält. Senkrecht darauf stehn die in Grade getheilten Declinationskreise, die südliche Declination bis 10° und die nördliche bis 30°. Der Lauf der Sonne ist durch die krumme Linie ABCDEF und der des Mercur durch abcdef vorgestellt, so daſs Fig. 165.

A und a	den Ort	der Sonne	und des	Mercur	für den	1. März	1835
B — b	—	—	—	—	—	1. April	—
C — c	—	—	—	—	—	1. Mai	—
D — d	—	—	—	—	—	1. Juni	—
E — e	—	—	—	—	—	1. Juli	—
F — f	—	—	—	—	—	1. August	—

anzeigen.

Schon der erste Blick auf diese Karte zeigt die groſse Unregelmäſsigkeit des Laufes des Planeten, während die Bahn der Sonne sich als ein einfacher gröſster Kreis des Himmels darstellt. Im Allgemeinen geht zwar auch Mercur gen Ost, indem er die in derselben Richtung fortschreitende Sonne bald in geringer, bald in gröſserer Enfernung begleitet, aber diese directe Bewegung des Planeten wird selbst in dieser kurzen Zeit mehr als einmal unterbrochen. So erscheint er in dem Puncte a ohne Bewegung in Rectascension, da seine Bahn hier nahe senkrecht auf dem Aequator steht. Von a bis b geht er rückwärts, sowie auch von e bis f; zwischen a und b, sowie in dem oberen Bogen zwischen e und f bildet seine Bahn eine Art von Schlinge, indem sie in sich selbst wieder zurückkehrt u. s. w. Nicht geringern Aenderungen ist auch die Declination dieses Planeten unterworfen. In einigen Puncten ändert sich die Declination gar nicht, indem die Bahn Mercurs mit dem Aequator nahe parallel läuft; an andern Orten steigt oder fällt sie, und zwar bald langsam, bald wieder sehr schnell u. s. w. Da es nun durchaus

nicht wahrscheinlich ist, daſs Mercur in der That in einer so verwickelten Bahn einhergehn sollte, da diese Verwickelungen gewiſs nur scheinbar sind, so wird es darauf ankommen, die Ursache dieses Scheines aufzusuchen, und zuzusehen, ob sich aus ihr alle jene Verwickelungen genügend und auf eine einfache Weise erklären lassen. Daſs aber diese Aufgabe sehr schwer seyn muſs, folgt schon daraus, daſs die wahre Auflösung derselben erst so spät gefunden worden ist, und daſs so viele vergebliche Versuche der scharfsinnigsten Männer vorhergehn muſsten, bis es endlich einem von ihnen gelang, das groſse Räthsel zu lösen, und zwar nur im Allgemeinen, gleichsam nur in seinen gröbsten Zügen. Copernicus, der diese wahre Auflösung in der Mitte des 16ten Jahrhunderts gegeben hat, lieſs die Kreise, in welchen sich, den Alten zufolge, jene Planeten bewegen sollten, noch ganz unberührt, ja er setzte über die Gröſse der Halbmesser dieser Kreise nichts Bestimmtes fest, sondern er begnügte sich damit, den gemeinschaftlichen Mittelpunct aller dieser Kreise in die Sonne zu legen, und bloſs die Reihenfolge dieser Kreise, wie sie nach ihrer Gröſse zu ordnen seyn sollen, anzuzeigen, ohne diese absoluten Gröſsen selbst zu bestimmen.

Wie ungleich schwerer würde diese Auflösung geworden seyn, wenn er auch die wahre Beschaffenheit dieser Bahnen, ihre Gröſse und Gestalt, wenn er zugleich die Ellipse eines jeden Planeten hätte angeben sollen, in welcher er sich um die Sonne bewegt. Allein diesen zweiten, schwereren Theil muſste er seinem groſsen Nachfolger Kepler überlassen, und auch disser würde wohl schwerlich das Problem gelöst haben, wenn er nicht zufällig durch die Beobachtungen Tycho Brahe's unterstützt worden wäre, die viel genauer waren, als die aller seiner Vorgänger, so daſs Kepler in diesen Beobachtungen die Abweichungen von der Kreisbewegung oder die eigentlich elliptische Ausweichung der Planeten schon erkennen konnte. Wenn es aber ein Glück für Kepler genannt werden kann, daſs die Beobachtungen des Mars, die ihm Tycho lieferte, so genau waren, so darf man ihm auch zugleich Glück wünschen, daſs dieselben Tychonischen Beobachtungen nicht noch genauer waren. Wären diese Beobachtungen z. B. von der Schärfe derjenigen gewesen, die mit so viel bessern Instrumenten in unsern Tagen angestellt werden, so würde Kepler in ihnen,

nebst jenen elliptischen, noch eine grofse Menge sehr beträchtlicher Abweichungen anderer Art bemerkt haben, die sich durch die Bewegung in einer Ellipse auf keine Weise darstellen lassen, und er würde selbst mit seinem hohen Talente an der Entwickelung aller dieser höchst complicirten Phänomene verzweifelt haben.

Während nämlich jeder Planet, blofs aus den beiden Ursachen, indem er sich erstens in einer Ellipse, also auch nothwendiger Weise ungleichförmig bewegt, und indem diese Bewegung zweitens von einem selbst wieder beweglichen Standpuncte, von der Erde, aus beobachtet wird, die bereits oben erwähnten grofsen Ungleichheiten zeigt, wird er überdiefs nicht blofs von der Sonne, als dem Centralpuncte seine Hauptbewegung, sondern auch, wenn gleich im geringeren Mafse, von *allen* übrigen Planeten ebenfalls angezogen. Während also z. B. Saturn durch die Attractionskraft der Sonne in seiner elliptischen Bahn einen Weg von mehr als 650 Millionen geogr. Meilen mit einer bald gröfsern, bald geringern Geschwindigkeit zurücklegt, wird er jeden Augenblick durch alle ihn umgebenden Planeten wieder aus dieser Bahn herausgezogen. Nach den verschiedenen Lagen dieser Planeten zieht ihn der eine näher zur Sonne, während ihn der andere davon entfernt; dieser reifst ihn in seinem Wege vorwärts, jener zurück; dieser erhebt ihn über, jener stöfst ihn unter seine ursprüngliche Bahn, und diese *Störungen* sind zuweilen so grofs, dafs sie selbst den älteren Beobachtern mit ihren unvollkommenen Instrumenten nicht hätten entgehn können, wenn sie diese Abweichungen nicht eben aus dieser Unvollkommenheit ihrer Beobachtungen erklärt und sich dabei beruhigt hätten. Die Störungen der Länge z. B., die Saturn vom Jupiter erfährt, können nahe auf einen ganzen Grad gehn, und die Störungen, welche derselbe Planet auf die vier neuen ausübt, die sich zwischen ihm und Mars um die Sonne bewegen, können sogar mehrere Grade betragen. Es ist übrigens leicht einzusehen, dafs alle diese immerfort wirkenden Störungen nicht nur auf den jedesmaligen Ort des Planeten in seiner elliptischen Bahn, sondern dafs sie mit der Zeit auf seine Bahn selbst, auf die Gröfse, Lage und Form seiner ursprünglichen Ellipse, Einflufs haben werden, und dafs auf diese Weise der Planet, allen diesen nach allen Seiten auf ihn wirkenden Kräften preisgegeben, eigentlich in einer sich jeden Augenblick

verändernden Bahn einhergehn müsse. Diese Verwirrung wird noch gröfser, wenn wir bedenken, dafs sich alle unsere Ortsbestimmungen der Planeten auf die *Ekliptik* beziehn, die selbst wieder, durch die Wirkung aller Planeten, eine ihrer Lage nach stets veränderliche Ebene ist. Durch Jupiters Einwirkung z. B. wird die Ebene der Ekliptik verrückt, und dieses hat die nothwendige Folge, dafs auch die Knoten aller übrigen Planetenbahnen mit der Ekliptik, so wie auch ihre Neigungen gegen diese Ebene, Aenderungen erfahren, selbst wenn sich die Bahnen der übrigen Planeten in ihrer Lage unter einander nicht ändern möchten, was sie doch, in Folge derselben Anziehung aller andern Planeten, ebenfalls thun müssen. Eine ähnliche Wirkung, wie die des Jupiter auf die Erdbahn, werden auch alle andere Planeten auf dieselbe Bahn äufsern, ja selbst die Wirkungen eines und desselben Planeten werden mit der Folge der Zeit wieder geändert werden, wenn einmal, durch dieselben immerfort wirkenden Störungen, die Bahnen aller Planeten unter sich ganz andere Lagen haben werden, als sie jetzt einnehmen.

Noch gröfser werden diese Verwirrungen, wenn wir bedenken, dafs wir sie nicht blofs von der sich um die Sonne und zugleich um sich selbst so schnell bewegten Erde, sondern dafs wir sie auch durch eine die Erde ringsum umgebende Hülle, die Atmosphäre, betrachten müssen, welche letztere schon allein die Ursache von unzähligen optischen Täuschungen ist, und durch welche wir keines der Gestirne an dem Orte erblicken, den es in der That am Himmel einnimmt, zu geschweigen, dafs auch die *Abirrung des Lichts*, durch welche uns alle diese Gestirne sichtbar werden, den Ort derselben wieder auf das mannigfaltigste verstellt. Endlich wird auch durch die *Präcession der Nachtgleichen* und durch die *Nutation der Erdaxe* der Aequator nicht blofs, sondern auch der Durchschnitt des Aequators mit der Ekliptik oder der *Frühlingspunct* immerfort verändert. Da wir aber von diesem Puncte alle Längen und Rectascensionen zählen und da alle unsere Beobachtungen sich auf den Aequator beziehn, so sieht man, dafs selbst von den sogenannten *Fixsternen*, wenn sie auch ihren Ort am Himmel nicht ändern, doch die Länge, die Rectascension und die Declination immerwährenden Aenderungen unterliegt, und dafs diese Aenderungen auch die bereits

oben erwähnten zahlreichen Anomalieen der beweglichen Planeten nur noch mehr verwirren werden. Der ganze Himmel also, an welchem wir früher nur Ordnung und Harmonie bewundern wollten, gewährt uns nun, bei genauerer Ansicht, nur Unordnung und Verwirrung ohne Ende, so dafs in dem verwickelten Gewühle aller dieser sich durchkreuzenden Bewegungen selbst die Grenzsteine, durch welche wir anfangs die grofse Karte des Himmels fesseln wollten, sich verrücken, dafs alle Orte der Gestirne, dafs selbst der Anfangspunct unserer Zählung sich immerwährend verrückt, dafs aus dem ersten Gestirn das letzte, aus dem letzten das erste wird, und dafs wir, inmitten aller dieser zahllosen wahren und scheinbaren Bewegungen, an eine Entwickelung und Erklärung derselben ohne Verwegenheit kaum denken können.

Diéses wird genügen, die Schwierigkeiten des hier in Rede stehenden Problems zu zeigen, und zugleich zu erklären, warum die Auflösung desselben nicht blofs erst nach so vielen Jahrtausenden, sondern auch, warum diese Auflösung nur theilweise, und zuerst blofs in ihren grofsen Zügen, gleichsam in ihren gröbsten Umrissen gefunden werden konnte, eine Erscheinung, die in der Geschichte der Astronomie und überhaupt in allen exacten Wissenschaften so oft wiederkommt, dafs sie wohl als einer der kräftigsten Beweise der Schwäche des menschlichen Geistes betrachtet werden kann, wenn gleich auf der andern Seite die endliche, wenn auch mit noch so vielen Schwierigkeiten verbundene glückliche Auflösung jener grofsen Aufgabe mit Recht als der schönste Triumph desselben Geistes gerühmt werden darf.

Wir gehn nun zu der nähern Betrachtung der verschiedenen Hypothesen über, die man zur Erklärung jener Erscheinungen des Himmels von Zeit zu Zeit aufgestellt hat, und wählen unter diesen zuerst

A. Das aegyptische Weltsystem.

Wir kennen dieses System blofs in seinen allgemeinen Zügen aus einigen zerstreuten Nachrichten. Eine hierauf bezügliche Aeufserung von Cicero gilt als zweifelhaft[1], da sie ver-

---

1 Somnium Scipionis. Lib. I. Cap. 19.

schiedener Auslegungen fähig ist. VITRUV[1] sagt ausdrücklich, dafs Mercur und Venus die Sonne umgeben und sich um dieselbe bewegen, und dafs dadurch ihr Stillstand und Rückgang entstehn. Nach MACROBIUS, PLUTARCH u. A. soll dieses die Lehre der alten Aegyptier gewesen seyn. MARCIANUS CAPELLA[2], der im fünften Jahrhundert n. Chr. lebte, entwickelt diese Lehre noch umständlicher, indem er sagt, dafs die Bahnen des Mercur und der Venus nicht die Erde, sondern vielmehr die Sonne umgeben, dafs die Sonne in dem Mittelpuncte dieser Bahnen sey, dafs jene zwei Planeten zuweilen diesseit, zuweilen jenseit der Sonne sich aufhalten, u. s. w. BEDA[3], mit den Beinamen *Venerabilis*, der im Anfang des achten Jahrhunderts in England lebte, setzt diese Hypothese sehr deutlich aus einander, so wie auch ARGOLI[4] im 17ten Jahrhundert.

Dieses ägyptische System, wie es jetzt allgemein genannt
Fig. 166. wird, wird durch Zeichnung am leichtesten verständlich. Die Erde T steht ruhend in der Mitte des Himmels, als Mittelpunct der kreisförmigen Bahn des Monds ☾ und der Sonne S, so wie der drei äufsersten, damals bekannten Planeten Mars ♂, Jupiter ♃ und Saturn ♄. Alle diese Himmelskörper bewegen sich in den angezeigten Bahnen von West nach Ost um die ruhende Erde T, während die Sonne auf ihrer Bahn SAB von zwei anderen concentrischen Kreisen umgeben ist, in deren Peripherieen sich Mercur ☿ und Venus ♀ bewegen, so dafs also die Sonne auf ihrem Wege SAB von den beiden letzten Planeten stets begleitet wird. Durch diese Anordnung werden die auffallendsten Bewegungen der Venus und des Mercur, die Stationen und Retrogradationen, im Allgemeinen den Beobachtungen gemäfs dargestellt, nicht so aber die der drei äufsersten Planeten, die daher ganz unerklärt blieben.

B. Ptolemäisches System.

Nach diesem bewegt sich um die ruhende Erde T als Mittel-
Fig. 167. punct in concentrischen Kreisen zunächst der Mond ☾, dann Mer-

1 De Architectura. Lib. IX. Cap. 4.
2 De nuptiis Philologiae et Mercurii. Lib. VIII.
3 De mundi coelestis ac terrestris constitutione.
4 Pandosium Sphaericum.

cur ☿, Venus ♀, die Sonne ☉, Mars ♂, Jupiter ♃ und Saturn ♄. Ptolemäus widmet zwei Capitel (*Μεγάλη σύνταξις* oder Almagest. Lib. I. Cap. 5 u. 7) den Beweisen, dafs die Erde im Mittelpuncte der Welt ruhe, *ὅτι μέση τοῦ οὐρανοῦ ἐστιν ἡ γῆ*. Die Ursache, warum er die Bahn der Sonne zwischen die von Mercur und Venus auf der einen und zwischen die von Mars, Jupiter und Saturn auf der andern Seite setzt, giebt er Lib. IX. Cap. I., weil nämlich jene zwei immer in der Nähe der Sonne, diese drei aber auch zuweilen der Sonne gegenüber gesehn werden. Ueber die eigentliche Gröfse der Halbmesser dieser Bahnen spricht er sich nirgends aus und giebt blofs an, dafs er die drei äufsersten Planeten in der durch die Figur angezeigten Ordnung gesetzt habe, weil er glaube, dafs die Planeten desto weiter von der Erde entfernt seyn müssen, je langsamer sie sich bewegen, wie man dieses beim Mond und bei der Sonne sehe, wo der erste sich viel schneller bewege und gewifs auch viel näher bei uns sey, weil er die Sonne zuweilen verfinstere. Auch das matte Licht Saturns bestimme ihn, denselben an die äufserste Grenze des Systems zu setzen. Seine Gründe endlich für die Unbeweglichkeit der Erde im Mittelpuncte aller jener Kreise sind gröfstentheils vom Mangel aller Parallaxe der Fixsterne hergenommen, indem er voraussetzt, dafs man, wenn die Erde ihren Ort im Raume änderte, eine Verrückung der gegenseitigen Stellungen der Fixsterne bemerken müfste.

Bei dieser, immerhin einfacheren Anordnung der Himmelskörper, als im ägyptischen Systeme, fehlt aber noch die Erklärung des Vor- und Rückwärtsgehens der Planeten. Diese erreichte Ptolemäus durch seine Theorie der *Epicykel*, wovon im folgenden Abschnitte die Rede seyn wird. Er gesteht selbst[1], dafs diese Epicykel den Gegenstand sehr zu verwickeln scheinen. Allein er tröstet sich damit, dafs die Planeten wohl lange nicht so schwer zu bewegen seyn mögen, als es uns schwer fällt, diese Bewegungen zu begreifen; dafs das Einfache im Weltbaue von ganz anderer Art sey, als in den Werken der Menschen, und dafs endlich die genaue Darstellung der Erscheinungen der Natur allen anderen Rücksichten vorgezogen werden müsse.

1 S. Almagest. Lib. XIII. Cap. 2.

Welches die Kräfte oder überhaupt die physischen Mittel seyn mögen, durch die der Planet um den ganzen leeren Mittelpunct des Epicykels, und durch welche dieser Mittelpunct um die ruhende Erde in einem Kreise bewegt werde, giebt Ptolemäus ebenso wenig, als die Gröfsen der Halbmesser dieser Kreise an. Die Meinung von den in einander steckenden durchsichtigen Sphären, die sich wie Zwiebelschalen drehen und dabei die Planeten mit sich herumführen, gehört nicht, wie Manche sagen, dem Ptolemäus, der für solche Hypothesen zu verständig war, als vielmehr dem weit ältern Eudoxus an. Es ist schwer zu begreifen, wie ein Mann, wie Aristoteles[1], einem solchen Einfalle seinen Beifall in so hohem Mafse geben konnte. Eudoxus soll jedem Planeten vier Sphären zugetheilt haben, deren eine die tägliche Umdrehung, die zweite die eigene Bewegung, die dritte die Veränderungen der Breite und die vierte endlich die Stillstände und Rückgänge bewirken sollte. Er brachte die Anzahl dieser Sphären auf 26, die aber später durch Calippus und Polemarchus, mit Beistimmung des Aristoteles, auf 56 vermehrt worden sind. Allein in der Folge, als die Beobachtungen viel genauer wurden, zeigten sich noch mehrere andere Ungleichheiten, deren jede wieder einen Epicykel oder eine eigene Sphäre verlangte, und bei dem Monde besonders wurde die Anzahl dieser Epicykel und überhaupt die Verwirrung der Gegenstände schon zur Zeit der Araber so grofs, dafs an ein Sichten und Ordnen derselben, so lange man diese alte Hypothese beibehielt, nicht weiter gedacht werden konnte. Der Anblick dieser Verwirrung mochte wohl auch den König Alphons X. von Castilien zu der bekannten unbesonnenen Aeufserung bewogen haben: *Si a principio creationis humanae Dei altissimi consilio interfuisset, nonnulla melius ordinatiusque condita fuisse*[2].

Dennoch herrschte dieses System mit allem ihm angehängten Flickwerk von Ptolemäus (130 nach Chr. Geb.) bis in die letzten Tage des Copernicus (starb 24. Mai 1543). Die Stützen, auf welchen diese so hartnäckig, selbst durch äufsere religiöse Einwirkung vertheidigte Hypothese ruhte, waren aus der fixen Idee von der Unbeweglichkeit der Erde, für

1 Metaphys. Lib. XII. Cap. 8.

2 Rodericus Sanctius Histor. Hispan. Pan. IV. Cap. 5.

die der Schein so deutlich zu sprechen scheint, und aus dem Ansehn des Almagest genommen, ein Werk, das seit seiner Erscheinung bis in die Mitte des sechzehnten Jahrhunderts die Hauptquelle aller astronomischen Kenntnisse ausmachte. Dazu kam noch die beinahe abergläubische Verehrung des Aristoteles bei den Arabern sowohl, als auch im ganzen Mittelalter, der, so wie auch Plato und andere griechische Philosophen, ohne eben von Mathematik oder Astronomie viel zu verstehn und ohne sich mit eigentlichen Beobachtungen zu begnügen, alle Erscheinungen des Himmels und der Erde, gleich unseren neueren Naturphilosophen, aus rein metaphysischen Gründen *a priori* construiren und erklären wollte.

Da schon der erste Blick auf die Bewegungen der Planeten zeigte, dafs dieselben nicht *geradlinig* seyn können, da also diese Bahnen *krumme Linien* seyn mufsten, so war es wohl am natürlichsten, die einfachste und bekannteste von allen krummen Linien, den *Kreis*, zuerst zu untersuchen, und man fand bald, dafs er der ersten, allerdings nur sehr rohen Beobachtung hinlänglich genüge. Die griechischen Philosophen, die zugleich Naturforscher seyn wollten, ohne doch diese Natur durch Beobachtungen und Experimente zu befragen, um ihr auf diesem einzig möglichen Wege vielleicht ihre Geheimnisse abzulocken, nahmen also ebenfalls an, dafs die Bahnen der Planeten sämmtlich *Kreise* seyen, aber nicht aus der Ursache, weil diese Annahme den Beobachtungen, um welche sie sich nicht weiter kümmerten, am besten entsprach, sondern aus einem, wie sie wähnten, viel höheren, aus einem hyperphysischen Grunde. Der Kreis galt ihnen nämlich als die vollkommenste krumme Linie, also auch sofort als die der Natur angemessenste, als die des Urhebers dieser Natur allein würdige Linie. Diese Idee, so unbegründet, so inhaltsleer sie war, fand doch bald einen allgemeinen Eingang, und sie schlug früher schon tiefe, nach allen Seiten verbreitete Wurzeln. Seit den Zeiten des Aristoteles, 350 Jahre vor unserer Zeitrechnung, bis zu Ende des 16ten Jahrhunderts war sie die herrschende Meinung nicht blofs des grofsen Haufens, sondern auch der Astronomen. Diese Idee war es vorzüglich, die die erwähnte verwickelte Theorie der ptolemäischen Epicykel erzeugte, und die, so lange sie die Gröfsen beherrschte, alle wahre Erkenntnifs der Bewegungen der himmlischen Körper,

alle eigentliche Astronomie, so gut als unmöglich machte. Selbst der grofse Copernicus, dieser *Vir maximi ingenii et, quod in hoc exercitio magni momenti est, animo liber*, wie Kepler von ihm sagte, selbst dieser freidenkende, vorurtheilsfreie Mann, der sich doch so wenig von fremder Autorität und von althergebrachten Meinungen leiten liefs, dafs er vielmehr sein ganzes Leben darauf verwandte, eine der ältesten und am hartnäckigsten vertheidigten dieser Meinungen zu bekämpfen, selbst dieser seltene Mann konnte sich von jenem seit beinahe zwei Jahrtausenden alle Geister fesselnden Vorurtheile nicht losmachen, und so grofs auch seine Verdienste um die Wissenschaft waren, so beschränkten sie sich doch nur darauf, die von dem Alter geheiligten und auch ihm unantastbaren Kreise der Planeten anderes zu vertheilen, aber diese Kreise selbst, an welche er ebenso fest, wie alle seine Vorgänger, glaubte, wagte er nicht zu berühren. Um aber doch diese Bewegungen der Planeten, den Beobachtungen seiner Zeit gemäfs, so viel als möglich darzustellen, mufste auch er die verworrene, offenbar nur als Hülfsgerüste gebrauchte und seinem hellen Geiste ohne Zweifel nicht zusagende Hypothese der Epicykel, wie er sie von den Alten überkommen hatte, unverändert beibehalten.

Es wird aber hier der Ort seyn, diese Hypothese, über welche man selbst in den neueren astronomischen Schriften nur selten, und auch dann meistens nur ungenügende, wenn nicht unrichtige Nachrichten findet, etwas näher kennen zu lernen, was sie allerdings verdient, da sie durch ihre lange Herrschaft historisch merkwürdig geworden ist, und da sie zugleich in theoretischer Beziehung eines der schönsten Denkmäler des Scharfsinns der Alten ist.

C. Theorie der Epicykel.

Zuerst wollen wir bemerken, dafs die Ungleichheiten, welche man in den Bewegungen der Planeten beobachtet, zweierlei Art sind, wie auch die Alten schon bemerkt haben. Die eine, welche sie die *erste* Ungleichheit nannten, hatte die siderische, und die andere oder *zweite* Ungleichheit hatte die synodische Revolution[1] zu ihrer Periode, oder mit andern Wor-

---

1 Vergl. Art. *Umlaufszeiten*. Bd. IX. S. 1214.

ten, die erste hatte ihren ganzen Kreislauf von Abwechselungen jedesmal durchlaufen, um dieselben Ungleichheiten wieder von vorn und in derselben Ordnung zu beginnen, wenn der Planet wieder zu demselben Fixstern, die andere aber, wenn er wieder zur Sonne zurückkam, von der er, im Anfange der Periode dieser zweiten Ungleichheiten, ausgelaufen war. Die erste dieser Ungleichheiten war viel geringer, als die zweite, und sie machte sich den Alten nur durch eine Veränderung der Geschwindigkeit bemerkbar, mit welcher der Planet in verschiedenen Puncten seiner Bahn oder zu verschiedenen Zeiten seiner siderischen Revolution einherging. Für die Sonne war der gröfstmögliche Werth dieser Ungleichheit 1° 55′ 36″, oder um so viel konnte während jeder siderischen Revolution dieses Gestirns die wahre Länge hinter der mittleren zurückbleiben oder auch, auf der andern Seite der grofsen Axe der Bahn, der mittlern Länge voreilen. Für Saturn betrug das Maximum dieser Ungleichheit 6° 27′, für Jupiter 5° 31′, für Mars 10° 41′, für die Venus nur 0° 47′, und für Mercur endlich, wo sie am bedeutendsten ist, stieg sie auf 23° 40′. Beim Monde aber, wo sie zwar nur auf 6° 19′ steigen konnte, hatten sie die Alten vorzüglich gut beobachten können, da für diesen Nebenplaneten die andere oder zweite, viel gröfsere Ungleichheit gar nicht existirt, so dafs also jene erste ganz rein, und von der zweiten ungestört, erscheinen würde, wenn nicht wieder andere eigene Perturbationen dieses Satelliten durch die Sonne (die *Evection*, *Variation* und die sogenannte *jährliche Gleichung*), die sich auf nahe 1° 30′ erheben können, jene erste Ungleichheit schwer zu erkennen und zu verfolgen gemacht hätte[1]. Die *zweite* Ungleichheit aber, welche die Planeten in ihren Bewegungen zeigten, war viel gröfser und auffallender. Unter ihr begriffen nämlich die Alten die oben erwähnten Erscheinungen der Planeten, nach welchen sie bald vorwärts gen Ost, bald rückwärts gen West gingen und bald wieder durch einige Zeit völlig am Himmel still zu stehn schienen. Um diese grofsen Ungleichheiten besser zu übersehn, giebt die folgende Tafel unter I den gröfsten geocentrischen Bogen, in welchem der Rückgang (die Retrogradation) eines jeden Planeten statt haben kann, unter II die Dauer dieses Rückgangs,

1 Vergl. Art. *Mond* Bd. VI. S. 2356.

unter III die heliocentrische Bewegung des Planeten in Länge, unter IV endlich die heliocentrische Bewegung der Erde während der Dauer dieses Rückgangs der Planeten.

	I	II		III	IV
Mercur	15°44′	22 Tag.	12 Stund.	111° 5′	23°57′
Venus	17 12	43	12	70 24	41 35
Mars	19 35	80	15	38 4	81 22
Jupiter	10 0	116	18	10 42	122 23
Saturn	6 55	138	19	5 4	138 3
Uranus	3 53	152	15	2 0	149 30

Den eigentlichen Grund dieser zwei Ungleichheiten konnten die Alten nicht angeben; auch schien es ihnen nicht sowohl um diesen Grund, als vielmehr nur um eine Hypothese zu thun zu seyn, durch welche sie jene beiden Ungleichheiten ihren Beobachtungen gemäfs darstellen konnten, unbekümmert, ob dann diese Hypothese der Natur selbst gemäfs sey oder ob die eigentliche Ursache jener zwei Erscheinungen ganz wo anders liegen möchte. Dieses Verfahren ist an sich selbst nicht eben zu tadeln, vielmehr ist es das beste und sicherste Mittel, bei dem Erforschen der Phänomene, die uns die Natur darbietet, wenigstens allmälig zu der wahren Ursache derselben zu gelangen. Auf dieselbe Weise hat auch in der Mitte des vorigen Jahrhunderts der grofse Beobachter James Bradley die von ihm entdeckten Bewegungen der Gestirne, die wir durch *Aberration* und *Nutation* bezeichnen, durch eine Hypothese zu erläutern gesucht. Zur Erklärung der Nutation liefs er nämlich den Pol des Aequators in 19 Jahren die Peripherie einer kleinen Ellipse beschreiben, deren grofse und kleine Axe nahe 19 und 14 Secunden beträgt. Um aber die Erscheinungen der Aberration darzustellen, liefs er sogar jedes Gestirn des Himmels während der Zeit eines Jahres in einer Ellipse einhergehn, deren grofse Axe 40 Sec. betrug, während die kleine Axe für verschiedene Sterne, nach ihrer Entfernung von der Ekliptik, auch verschieden und für jeden Stern eine andere war. Ohne Zweifel waren dem Erfinder dieser sinnreichen Hypothesen alle diese Ellipsen selbst sehr unwahrscheinlich, aber es genügte ihm, die Erscheinung durch diese Hypothese den Beobachtungen gemäfs dargestellt, es genügte ihm, eine analytische

Formel gefunden zu haben, welche alle die von ihm entdeckten Veränderungen der Fixsterne richtig und der Wahrheit gemäfs darstellte. Welchen weiteren Grund aber diese Formel haben möge, liefs er seinen Nachfolgern zu untersuchen übrig, die denn auch endlich fanden, dafs die bisher nur hypothetisch vorgeschlagene Nutationsellipse ihre Ursache in den durch die Anziehung der Sonne und des Monds auf die abgeplattete Erde hervorgebrachten Bewegungen der Erdaxe, und dafs alle jenen unzähligen Aberrationsellipsen ihre letzte Ursache in der Geschwindigkeit des Lichtes haben, das seinen Weg von der Sonne zu uns in 8 Min. 13 Sec. zurücklegt.

Ganz ebenso hat denn endlich auch Copernicus gefunden, dafs die oben erwähnte zweite Ungleichheit der Planeten ihren wahren, letzten Grund in der Bewegung der Erde habe, so wie Kepler die wahre Ursache der ersten Ungleichheit darin fand, dafs die Planeten nicht gleichförmig in Kreisen, deren gemeinschaftlicher Mittelpunct die Sonne ist, wie Copernicus wollte, sondern dafs sie mit veränderlichen Geschwindigkeiten in Ellipsen einhergehn, deren einen Brennpunct die Sonne einnimmt.

Die Alten aber, und alle ihre Nachfolger bis ins 16te Jahrhundert, nahmen die Bewegung der Planeten gleichförmig und in Kreisen an, daher sie den wahren Grund der ersten Ungleichheit nicht finden konnten, und sie nahmen überdiefs die Erde im Mittelpuncte aller jener Kreise ruhend an, daher ihnen auch die wahre Ursache der zweiten, blofs aus der Bewegung der Erde entstehenden Ungleichheit verborgen bleiben mufste. Da jedoch das Ursachenthier, wie Lichtenberg den Menschen nennt, seiner inneren Natur nach nicht eher mit sich selbst in Frieden kommen kann, bis es von dem, was ihm durch die Canäle seiner Sinne von aufsen zufliefst, irgend einen Grund, selbst einen oft wieder ganz grundlosen, angeben kann, so suchten auch unsere guten Altvordern einen solchen Grund, aus welchem sie jene doppelte Erscheinung der Planeten auf eine wenigstens sie selbst befriedigende Weise ableiten könnten, und so fanden sie denn endlich zur Erklärung der ersten Ungleichheit den *excentrischen Kreis* und zur Darstellung der zweiten den *Epicykel.*

Sey T die ruhende Erde, um welche sich die Sonne in dem Kreise ABD gleichförmig bewegt. Da die Bewegung in Fig. 168.

einem Kreise ihrer Natur nach nicht anders als gleichförmig seyn kann, so nehmen wir an, daſs die Sonne, die den ganzen Kreis, dessen Mittelpunct T ist, in einem Jahre von 365,24225 Tagen zurücklegt, in jedem dieser Tage denselben Bogen Aa; Bb; Dd... beschreibe. Wäre nun die Erde in der That in dem Mittelpuncte T dieses Kreises, so würde sie diese gleichen Bogen auch immer unter den gleich groſsen Winkeln ATa; BTb; DTd... sehn, oder die tägliche Bewegung der Sonne würde durch das ganze Jahr immer gleich groſs erscheinen. Allein dieses stimmt mit den Beobachtungen nicht überein. Man bemerkte nämlich, daſs die tägliche Aenderung der Sonne in Länge im Anfang des Winters immer viel gröſser war, als im Anfang des Sommers. Bezeichnet T♈ oder die mit ihm parallele Gerade C♈ die Linie der Frühlingsnachtgleichen, von welcher man in der östlichen Richtung ♈DB alle Längen zu zählen pflegt, so geben die Beobachtungen die gröſste tägliche Bewegung der Sonne um die Mitte des December, wenn die Sonne, von der Erde gesehn, in D oder in der Länge von 280° war; die kleinste Bewegung aber hatte, in der Mitte unseres Junius, dann statt, wenn die Sonne in A war oder nahe die Länge von 100° hatte. Dort betrug diese tägliche Bewegung 3671, hier nur 3432 Secunden. Während die Sonne in der einen Hälfte des Jahrs von A über B bis nach D ging, nahm ihre tägliche Bewegung allmälig zu, während sie in der andern Jahreshälfte durch den Bogen D♈A wieder ebenso regelmäſsig abnahm.

Wenn aber, wie die Alten glaubten, der Kreis als die einzig wahre Bahn der Sonne beibehalten werden muſs, so wird man, diese Ungleichheit darzustellen, nur die Erde aus dem Mittelpuncte T jenes Kreises wegnehmen und sie irgendwo in die Linie AD, welche die zwei Puncte der gröſsten und kleinsten Bewegung verbindet, z. B. in den Punct C stellen dürfen, so daſs der Winkel $ACa = 3432$ und der Winkel $DCd = 3671$ Secunden beträgt. Dieses wird man aber, wie man leicht sieht, dann erhalten, wenn man den Punct C in der Linie ATD so wählt, daſs die Entfernung $TC = \frac{2}{100} CD$ oder genauer gleich 0,017 des Halbmessers jenes Kreises genommen wird. Dieser Kreis wurde daher der *excentrische Kreis* genannt. Doch gebrauchten sie diese Hypothese nur vorzüglich bei der Sonne und dem Monde, wo nämlich die

zweite Ungleichheit gänzlich wegfällt und wo sie daher nur mit dieser ersten ins Reine zu kommen hatten. Bei den Planeten, wo sich beide Ungleichheiten vermischen, machte ihnen die Sonderung derselben schon zu grofse Mühe und sie begnügten sich daher gröfstentheils mit der Darstellung dieser zweiten Ungleichheit, die wir nun ebenfalls näher betrachten wollen.

Um also auch diese zweite Ungleichheit der Planeten, ohne Rücksicht auf die erste, zu erklären, ohne dadurch weder die Erde in ihrer beliebten Ruhe zu stören, noch auch sich von der ihnen gleichsam heiligen Bewegung in Kreisen zu entfernen, nahmen sie an, dafs sich auf der Peripherie M M′ M″ eines Kreises, dessen Mittelpunct die Erde T ist, der Mittelpunct eines andern Kreises von West gen Ost oder in der Richtung MM′M″ gleichförmig bewege, während der Mittelpunct des Planeten selbst auf der Peripherie dieses zweiten Kreises, ebenfalls in der Richtung von West gen Ost, gleichförmig einhergehn sollte. Man nannte diesen zweiten Kreis den *Epicykel* und den ersten Kreis M M′ M″ den *deferirenden* Kreis. Man sieht, dafs man durch eine solche Anordnung das Vor- und Rückwärtsgehn, so wie auch das Stillstehn der Planeten im Allgemeinen ganz gut erklären kann; denn wenn z. B. das Centrum des Epicykels in M″ ist, und wenn zugleich der Planet in dem entferntesten Puncte a von der Erde T anlangt, so haben beide Puncte M″ und a *dieselbe* directe Bewegung, und der Planet wird daher, von der Erde T gesehn, auch seine *gröfste* directe Bewegung haben. Wenn aber der Mittelpunct des Epicykels nach einer halben Revolution in dem Puncte M′ und der Planet zugleich in dem der Erde nächsten Puncte b ankommt, so wird die Bewegung des Punctes M gegen die Linke oder östlich, die des Planeten b aber gegen die Rechte oder westlich gerichtet seyn, oder beide Puncte werden hier entgegengesetzte Bewegungen haben, und der Planet wird daher, von der Erde T gesehn, nur mit der *Differenz* jener beiden Bewegungen fortzugehn scheinen. Wenn aber, wie hier vorausgesetzt wird, die Winkelgeschwindigkeit des Planeten in der Peripherie seines Epicykels gröfser ist, als die des Mittelpuncts des Epicykels, so wird, für diesen Punct b, der Planet mehr rück- als vorwärts zu gehn scheinen, und zwar wird er in diesem Puncte b die gröfste retrograde Bewe-

Fig. 169.

gung haben, so wie er vorhin in a die gröſste directe Bewegung, von der Erde T aus betrachtet, gehabt hat.

In dem Puncte M″ steht die Richtung der Bewegung des Planeten in seinem Epicykel senkrecht auf die Linie TM″, die den Mittelpunct des Epicykels mit dem der Erde verbindet. Wenn aber M″ in seinem Kreise und der Planet a in der Peripherie des Epicykels weiter rechts gegen m fortgeschritten ist, so wird sich die Richtung der Bewegung des Planeten a aus ihrer frühern senkrechten Lage immer mehr gegen die Erde hinneigen und daher derjenige Theil der täglichen Bewegung desselben, der von der Bewegung des Planeten in seinem Epicykel kommt, immer kleiner erscheinen, während die des Mittelpuncts des Epicykels, von T gesehn, immer dieselbe bleibt. Auf diese Weise wird endlich der Mittelpunct des Epicykels in der Hälfte M″mM des Kreises zu einem Puncte gelangen, wo jener Theil ganz verschwindet und wo daher der Planet nur noch mit der constanten Geschwindigkeit des Epicykels, übrigens aber noch immer mit directer Geschwindigkeit fortgehn wird. Dieser Ort des Planeten wird aber derjenige seyn, in welchem die Tangente des Epicykels genau durch den Mittelpunct der Erde T geht, so daſs also der Planet selbst sich in gerader Linie zur Erde hin bewegen, d. h. daſs er still zu stehn scheinen würde, wenn er nicht durch die Bewegung des Epicykels selbst noch weiter gen Ost oder von m gen M geführt würde. Nach diesem Puncte aber wird sich die Richtung der Bewegung des Planeten in seinem Epicykel von der Erde, auf der andern Seite derselben, wieder allmälig mehr und mehr entfernen oder jener Theil wird rückgängig, die ganze scheinbare Bewegung aber doch noch immer direct seyn, aber auch zugleich immer kleiner werden, weil jener rückgängige Theil immer wächst, bis er endlich so groſs wird, als die ihrer Natur nach immer directe und constante Bewegung des Mittelpuncts des Epicykels ist, wo dann der Planet in seiner Bewegung für die Erde ganz *still* zu stehn scheinen wird. Da ferner, von diesem Puncte an, die retrograde Geschwindigkeit jenes Theils noch weiter zunimmt, so wird nun der Planet, gleich nach seinem Stillstande, retrograd zu werden anfangen, und diese retrograde Bewegung der Planeten, wie sie von der Erde aus gesehn erscheint, wird so lange wachsen, bis sie für den Punct M, wie oben gesagt worden ist, ihren gröſsten Werth

erreicht hat. Aehnliche Erscheinungen werden in der andern Hälfte MM'M'', nur in verkehrter Ordnung, statt haben, und wenn man auf diese Weise den Planeten durch den ganzen Lauf einer Revolution etwa in einer Zeichnung verfolgt, so wird man dadurch nicht nur die verschiedenen Geschwindigkeiten desselben, wie sie von der Erde aus erscheinen, sondern auch die Puncte seines Stillstands, die Gröfse des Bogens seines Rückgangs und kurz alle die oben erwähnten Erscheinungen seiner Bewegung, selbst die angeführten Schlingen und Knoten seiner Bahn, leicht und deutlich darstellen können, wenn man nämlich der Ebene des Epicykels und der Ebene des Kreises MM'M'', die wir bisher der gröfsern Einfachheit wegen zusammenfallen liefsen, eine angemessene Neigung gegen einander giebt. Versetzt man endlich die Erde T, die wir bisher im Mittelpuncte des deferirenden Kreises angenommen haben, in eine angemessene Entfernung aufserhalb dieser Mittelpuncte, so wird man durch die ganze Unordnung nicht nur, wie bisher, die zweite, sondern auch die erste Ungleichheit der Planeten den Beobachtungen gemäfs darstellen können.

Es ist aber bei der Aufstellung dieser Hypothese für sich klar, dafs sowohl die Gröfse der beiden Kreise, als auch die Umlaufszeiten des Mittelpunctes M in dem einen und des Planeten P in dem andern Kreise nicht willkürlich sind, sondern dafs sie für jeden Planeten besonders bestimmt werden müssen, damit die ganze Einrichtung den Beobachtungen entsprechen könne. Zu diesem Zwecke nahmen die Alten an, dafs die Umlaufszeit des Planeten in seinem Epicykel *bei allen Planeten* gleich der synodischen Revolution des Planeten, und dafs die Umlaufszeit des Mittelpuncts des Epicykels für die oberen Planeten (Mars, Jupiter und Saturn) gleich der tropischen Revolution dieser Himmelskörper, für die untern Planeten (Venus und Mercur) gleich der tropischen Revolution der Sonne oder gleich 365,24225 Tagen sey, so dafs, bei diesen letzten zwei Planeten, die Länge ♈TM des Centrums des Epicykels immer gleich der Länge der Sonne seyn mufs. Da ferner die *oberen* Planeten zur Zeit ihrer Conjunction[1] ihre gröfste directe, zur Zeit der Opposition aber ihre gröfste retrograde Bewegung zeigen, so versetzte man den Ort des Planeten zur Zeit der Conjunction in den fernsten Punct a und zur Zeit der Oppo-

1 Vergl. Art. *Aspecten*. Bd. I. S. 401.

sition in den nächsten Punct b seines Epicykels bei der Erde T. Bei den untern Planeten aber, die keine Opposition, aber dafür zwei Conjunctionen haben, setzte man sie zur Zeit ihrer obern Conjunction in den fernsten Punct a und zur Zeit ihrer untern Conjunction in den der Erde nächsten Punct b ihres Epicykels, da auch diese Planeten in der That bei der obern Conjunction am weitesten und bei der untern am wenigsten von der Erde entfernt sind.

Noch sind die Halbmesser der beiden Kreise für jeden Planeten zu bestimmen übrig. Ptolemäus scheint sich, wie bereits gesagt, um die Kenntniſs der Entfernungen der Planeten von der Sonne nicht eben sehr bemüht zu haben; auch giebt die aufgestellte epicyklische Hypothese, da sie sich nur mit den Längen, nicht aber mit den Distanzen der Planeten, wie sie von der Erde statt haben, beschäftigt, bloſs die Verhältnisse, nicht aber die absoluten Gröſsen dieser Halbmesser an die Hand. Die Alten nahmen an, daſs für die obern Planeten der Halbmesser des Epicykels sich zu dem des Kreises MM′M″ verhalten müsse, wie die mittlere Entfernung der Erde zur mittleren Entfernung des Planeten von der Sonne, und daſs für die untern Planeten das umgekehrte Verhältniſs statt habe.

Um das Vorhergehende analytisch darzustellen, sey wieder T der Mittelpunct des Kreises MM′M″, in dessen Peripherie der Mittelpunct M, M′, M″ des Epicykels einhergeht, während die Peripherie dieses Epicykels von den Planeten P, P′, P″.. durchlaufen wird. Beide Puncte sollen sich von der Rechten zur Linken oder in der Richtung MM′M″.. und PP′P″.. gleichförmig bewegen, und zwar so, daſs in den beiden einander gegenüber liegenden Puncten M und M″ der Planet P und P″ in seine gröſste und kleinste Entfernung von der Erde T falle, wodurch demnach die Bewegung der beiden Puncte P und M so angeordnet wird, daſs sie immer beide zugleich durch die Linie MTM″ gehn, oder daſs P in derselben Zeit die Hälfte seines Epicykels zurücklegt, in welcher der Punct M durch die Hälfte der Peripherie seines Kreises geht. Es entsteht nun die Frage: wie sollen die Geschwindigkeiten dieser beiden Bewegungen und wie die Halbmesser dieser zwei Kreise gewählt werden, damit die aus dem Mittelpuncte T gesehenen Orte des Punctes P, P′, P″... mit den von der Erde beobachteten Orten des Planeten übereinstimmen?

Zur Beantwortung dieser Frage wollen wir uns zuerst wieder die Ausdrücke in Erinnerung bringen, die wir oben[1] für die Bestimmung des geocentrischen Orts aus dem heliocentrischen aufgestellt haben. Ist nämlich

r der Halbmesser der Planetenbahn,
R – — — – Erdbahn, beide als kreisförmig und in der Ebene der Ekliptik angenommen; ist ferner
l die heliocentrische Länge des Planeten,
λ die geocentrische Länge des Planeten,
L die geocentrische Länge der Sonne und
ϱ die Distanz des Planeten von der Erde,

so hat man, wie a. a. O. gezeigt worden ist,

$$\left.\begin{array}{l} r\,\text{Cos.}\,(l-N) + R\,\text{Cos.}\,(L-N) = \varrho\,\text{Cos.}\,(\lambda-N) \\ r\,\text{Sin.}\,(l-N) + R\,\text{Sin.}\,(L-N) = \varrho\,\text{Sin.}\,(\lambda-N) \end{array}\right\},$$

wo N irgend eine willkürliche Gröſse bezeichnet. Aus diesen beiden Gleichungen findet man sofort

$$\text{Tang.}\,(\lambda-l) = \frac{\frac{R}{r}\,\text{Sin.}\,(L-l)}{1+\frac{R}{r}\,\text{Cos.}\,(L-l)} \quad \text{oder}$$

$$\text{Tang.}\,(L-\lambda) = \frac{\frac{r}{R}\,\text{Sin.}\,(L-l)}{1+\frac{r}{R}\,\text{Sin.}\,(L-l)}$$

und wenn man so die Gröſse l kennt, so findet man auch die Distanz ϱ des Planeten von der Erde durch den Ausdruck

$$\varrho^2 = r^2 + R^2 + 2\,rR\,\text{Cos.}\,(l-L)$$

oder auch

$$\varrho = r\,\text{Cos.}\,(\lambda-l) + R\,\text{Cos.}\,(L-\lambda).$$

Dieses vorausgesetzt gehn wir nun wieder zu unserer Figur zurück. Sey T♈; M♈; M′♈.. die Linie der Nachtgleichen, und wenn der Mittelpunct des Epicykels in M′ ankommt, so sey P′ der Ort des Planeten in der Peripherie dieses Epicykels. Man vereinige die drei Puncte T, M′ und P′ durch gerade Linien.

---

1 S. Art. *Umlaufszeiten.* Bd. IX. S. 1254.

Sey $TM = TM' = a$ der Halbmesser des Kreises MM' und $MP = M'P' = b$ der Halbmesser des Epicykels, so wie $P'T = c$ die Entfernung des Planeten P' von der Erde T. Sey ferner $\Upsilon TM' = \alpha$ die geometrische Länge des Mittelpuncts M' des Epicykels, $\Upsilon TP' = \gamma$ die geocentrische Länge des Planeten P' und $\Upsilon M'P' = \beta$ die aus dem Mittelpuncte M' des Epicykels gesehene Länge des Planeten. Um nun diese sechs Gröfsen a, b, c und α, β, γ unserer Aufgabe gemäfs zu bestimmen, so hat man in dem Dreiecke $TM'P'$ die Winkel

$$T = \gamma - \alpha$$
$$P' = \beta - \gamma$$
$$M' = 180 + \alpha - \beta,$$

also auch

$$\text{Tang.}(\gamma - \beta) = \frac{\frac{a}{b}\text{Sin.}(\alpha - \beta)}{1 + \frac{a}{b}\text{Cos.}(\alpha - \beta)} \quad \text{oder}$$

$$\text{Tang.}(\alpha - \gamma) = \frac{\frac{b}{a}\text{Sin.}(\alpha - \beta)}{1 + \frac{b}{a}\text{Cos.}(\alpha - \beta)} \quad \text{und}$$

$$c = a\,\text{Cos.}(\alpha - \gamma) + b\,\text{Cos.}(\beta - \gamma).$$

Es handelt sich demnach darum, diese drei letzten Gleichungen mit den analogen drei vorhergehenden übereinstimmend zu machen. Diese Uebereinstimmung aber erhält man, wie man sogleich bemerkt, durch die folgende Annahme:

$$\alpha = L \text{ und } a = R$$
$$\beta = l \qquad b = r$$
$$\gamma = \lambda \qquad c = \varrho.$$

Diese Annahme setzt also voraus, dafs der Halbmesser des Kreises MM' gleich dem Halbmesser der Erdbahn, und dafs der Halbmesser des Epicykels gleich dem Halbmesser der Planetenbahn ist, und dadurch sind die Gröfsen dieser beiden Kreise, der Aufgabe gemäfs, bestimmt. Um aber auch die Geschwindigkeiten oder die Umlaufszeiten der beiden Puncte M und P in ihren Kreisen zu finden, so sey B die Umlaufszeit des Planeten in seinem Epicykel und A die Umlaufszeit des Punctes M in der Peripherie des Kreises MM'. Diese Um-

laufszeiten verhalten sich aber, wie verkehrt die Winkel, welche jeder der zwei beweglichen Puncte um den Mittelpunct seines Kreises, während derselben Zeit, beschreibt. Der Punct P legt aber um seinen Mittelpunct M den Winkel $PM'P' = \beta - \alpha$ in derselben Zeit zurück, in welcher der Punct M um seinen Mittelpunct T den Winkel $MTM' = \alpha$ zurücklegt, so dafs man demnach hat

$$A:B = \frac{1}{\alpha} : \frac{1}{\beta - \alpha} = \frac{1}{L} : \frac{1}{l - L}.$$

Bezeichnen aber l und L die Bewegung des Planeten und der Sonne für eine gegebene Zeit, so ist $\frac{360}{l}$ die tropische Umlaufszeit des Planeten und $\frac{360}{L}$ die tropische Umlaufszeit der Sonne, und ebenso ist auch $\frac{360}{l - L}$ die synodische Umlaufszeit des Planeten, so dafs man daher hat

$$\frac{A}{B} = \frac{\text{trop. Revol. der Sonne}}{\text{synod. Revol. des Planeten}}.$$

Auf diese Weise sind demnach die Halbmesser der beiden Kreise und auch die Bewegungen der beiden Puncte in diesen Kreisen so bestimmt worden, dafs die epicyklischen Erscheinungen des Planeten in Beziehung auf ihre Längen sowohl, als auch auf ihre Entfernungen von der Erde ganz mit den wahren Erscheinungen, die unmittelbar aus den Beobachtungen folgen, übereinstimmen.

Allein dieselbe Uebereinstimmung kann man auch noch, wie man bei näherer Betrachtung jener zwei Systeme von Gleichungen sieht, auf die folgende Weise erreichen, indem man nämlich annimmt

$$\begin{aligned} \alpha &= l \quad \text{und} \quad & a &= r \\ \beta &= L & b &= R \\ \gamma &= \lambda & c &= \varrho. \end{aligned}$$

Da nun auch hier wieder

$$A:B = \frac{1}{\alpha} : \frac{1}{\beta - \alpha}$$

oder

$$A:B = \frac{1}{l} : \frac{1}{L-l}$$

ist, so ist auch

$$\frac{A}{B} = \frac{\text{trop. Revol. des Planeten}}{\text{synod. Revol. des Planeten}}.$$

Man kann also auch die epicyklische Theorie mit den Beobachtungen ebenso vollkommen übereinstimmend machen, wenn der Halbmesser a des Kreises gleich dem Halbmesser der Planetenbahn und der Halbmesser des Epicykels gleich dem Halbmesser der Erdbahn angenommen wird, wo aber dann die Revolution des Planeten in seinem Epicykel gleich der synodischen, und die Revolution des Mittelpuncts des Epicykels gleich der tropischen Revolution des Planeten angenommen werden muſs. Alles dieses stimmt vollkommen mit dem oben Gesagten. Die Griechen haben nämlich die erste Annahme (wo $a = R$ und $b = r$ ist) bei den zwei untern Planeten, Mercur und Venus, die zweite Annahme aber (wo $a = r$ und $b = R$ ist) bei den oberen Planeten, Mars, Jupiter und Saturn, vorgezogen, obschon sie, wie man aus dem Vorhergehenden sieht, auch schon durch eine einzige dieser beiden Hypothesen beide Arten von Planeten in ihren geocentrischen Bewegungen hätten darstellen können. Ohne Zweifel aber trafen sie diese Wahl, um von den beiden Halbmessern a und b immer den kleineren für den Epicykel zu erhalten, oder um den kleinern Kreis auf dem gröſsern, nicht umgekehrt, gehn zu lassen.

Aus dem Vorhergehenden folgt also, daſs man die *zweite* Ungleichheit der Planeten, deren eigentlicher Grund in der Bewegung der Erde liegt, durch die Hypothese eines Epicykels vollkommen, in der geocentrischen Länge sowohl, als auch in der Distanz des Planeten von der Erde, darstellen kann.

Nicht so verhält es sich aber mit der *ersten* Ungleichheit, die von der elliptischen Bewegung der Planeten um die Sonne kommt. Um dieses zu zeigen, sey in dem Dreiecke $TM'P'$, wie zuvor,

$$TM' = a; \quad P'M' = b \text{ und } P'T = r,$$

so wie der Winkel

$$♈TM' = \alpha; \; ♈M'P' = \beta \text{ und } P'T♈ = \varphi,$$

so hat man nach den bekannten trigonometrischen Ausdrücken, da der Winkel $M'TP' = \varphi - \alpha$ ist,

$$\text{Tang.}(\varphi-\alpha)=\frac{\text{b Sin.}(\alpha-\beta)}{\text{a}+\text{b Cos.}(\alpha-\beta)}$$

und

$$r^2=a^2+b^2+2ab\ \text{Cos.}(\alpha-\beta).$$

Löst man diese beiden Gleichungen in Reihen auf, die nach den Potenzen der Gröſse $\frac{b}{a}=E$ fortgehn, so erhält man

$$\varphi-\alpha=\text{E Sin.}(\alpha-\beta)-\tfrac{1}{2}E^2\text{Sin.}2(\alpha-\beta)+\tfrac{1}{3}E^3\text{Sin.}3(\alpha-\beta)-\ldots$$

und

$$\text{Log. nat.}\ \frac{r}{a}=\text{E Cos.}(\alpha-\beta)-\tfrac{1}{2}E^2\text{Cos.}2(\alpha-\beta)+\tfrac{1}{3}E^3\text{Cos.}3(\alpha-\beta)-\ldots,$$

welche letzte Gleichung man auch so darstellen kann:

$$\frac{r}{a}=1+\text{E Cos.}(\alpha-\beta)+\tfrac{1}{4}E^2(1-\text{Cos.}2(\alpha-\beta))$$
$$+\tfrac{1}{8}E^3(\text{Cos.}3(\alpha-\beta)-\text{Cos.}(\alpha-\beta))+\ldots$$

Vergleicht man nun diese epicyklischen Ausdrücke für $\varphi-\alpha$ und für $\frac{r}{a}$ mit denjenigen Reihen, welche für die elliptische Bewegung der Planeten statt haben[1], wo ε das Verhältniſs der Excentricität der Ellipse zur halben groſsen Axe und wo m und ν die sogenannte mittlere und wahre Anomalie des Planeten bezeichnen, so hat man für die Gleichung der Bahn

$$m-\nu=\left(2\varepsilon-\frac{\varepsilon^3}{4}\right)\text{Sin.m}-\tfrac{5}{4}\varepsilon^2\text{Sin.}2\text{m}+\tfrac{13}{12}\varepsilon^3\text{Sin.}3\text{m}-\ldots.$$

und für den Radius Vector r den Ausdruck

$$\frac{r}{a}=1+\varepsilon\,\text{Cos.m}-\tfrac{1}{2}\varepsilon^2(\text{Cos.}2\text{m}-1)+\tfrac{3}{8}\varepsilon^3(\text{Cos.}3\text{m}-\text{Cos.m})-\ldots.$$

Diese Doppelwerthe von $\varphi-\alpha$ oder $m-\nu$ und von $\frac{r}{a}$ aber zeigen auf den ersten Blick, daſs man durch einen Epicykel von den beiden Gröſsen, der wahren Anomalie oder der wahren Länge und dem Radius Vector des Planeten, wohl die eine, aber dann auch nicht mehr die andere der Wahrheit gemäſs darstellen kann, selbst in dem sehr beschränkten Fall, daſs man schon bei der ersten Potenz der Excentricität der Ellipse stehn bleiben wollte. So kann die Länge dargestellt werden, wenn man die Gröſse

1 Vergl. Art. *Mittlerer Planet.* Bd. VI. S. 2310.

$\frac{b}{a}$ oder E gleich 2ε setzt, aber dann kann die Entfernung nicht dargestellt werden, weil diese den Ausdruck $E = \varepsilon$, also E nur halb so grofs als zuvor, fordert.

Dieser Widerspruch hätte die Alten leicht auf den Irrthum ihrer epicyklischen Theorie führen können. Die Veränderung des scheinbaren Durchmessers des Mondes nämlich ist nach seinen verschiedenen Entfernungen von der Erde so grofs, dafs sie auch den unvollkommenen Beobachtungen der Alten nicht gut entgehn konnte. Dieser Durchmesser ist nämlich in der Erdnähe $D = 2011'',08$ und in der Erdferne $D' = 1761'',96$ oder in Minuten ausgedrückt

$$D = 33',518 \text{ und } D' = 29',366.$$

Sind dann r und r' die zu diesen Durchmessern gehörenden Entfernungen des Mondes von der Erde, so hat man, da sich diese Durchmesser immer verkehrt wie die Entfernungen verhalten,

$$\frac{D}{D'} = \frac{r'}{r}.$$

Wenn man aber in den beiden für die epicyklische Bewegung oben erhaltenen Gleichungen $\varphi - \alpha = m - v$, $\alpha - \beta = m$ und $a = 1$ setzt, so erhält man

$$v - m = - E \operatorname{Sin.} m$$

und

$$r = 1 + E \operatorname{Cos.} m.$$

Von der ersten dieser Gleichungen ist das Differential

$$\frac{\partial v}{\partial m} = 1 - E \operatorname{Cos.} m,$$

also auch

$$\frac{\partial v}{\partial m} = \frac{1}{r},$$

oder so wie allgemein der scheinbare Durchmesser sich wie verkehrt die Entfernung verhält, so verhält sich auch, in der epicyklischen Bewegung, die Geschwindigkeit ∂v des Planeten, wie diese Entfernung selbst. Bezeichnet man also wieder, wie zuvor, die Gröfsen r, v und D für die Erdferne des Mondes durch r', v' und D', so hat man

$$\frac{\partial v}{\partial v'} = \frac{r'}{r},$$

oder da allgemein $\frac{r'}{r} = \frac{D}{D'}$ ist,

$$\frac{\partial v}{\partial v'} = \frac{D}{D'}.$$

Allein diese letzte Gleichung stimmt keineswegs mit den beobachteten stündlichen Bewegungen des Mondes in der Erdnähe und Erdferne überein. Es ist nämlich $\partial v = 38{,}366$ und $\partial v' = 29{,}447$ Minuten, also ist auch

$$\frac{\partial v}{\partial v'} = 1{,}3028,$$

während die Division der beiden obigen Werthe von D und D′ giebt

$$\frac{D}{D'} = \frac{33{,}518}{29{,}366} = 1{,}1414.$$

Die epicyklische Theorie der Bewegung des Mondes kann daher nicht richtig seyn, da durch sie die stündlichen Geschwindigkeiten dieses Satelliten in den verschiedenen Puncten seiner Bahn nicht den Beobachtungen gemäſs dargestellt werden. Oder mit andern Worten: die wahren beobachteten Geschwindigkeiten des Monds erscheinen uns nicht bloſs deswegen verschieden, weil der Mond seine Entfernung von uns ändert, während dabei seine wahre Geschwindigkeit (wie dieses in der epicyklischen Hypothese der Fall ist) immer dieselbe bleibt, sondern die Geschwindigkeit des Mondes ist *an sich selbst veränderlich*, wie dieses z. B. der Fall seyn muſs, wenn er sich in einer Ellipse bewegt.

Sehn wir also noch zu, ob diese Voraussetzung einer elliptischen Bewegung jene Aenderungen der Geschwindigkeiten des Mondes besser darstellt. Nach dem Vorhergehenden haben wir für diese elliptische Bewegung, wenn wieder $a = 1$ ist,

$$m - v = 2\varepsilon \text{ Sin. } m$$

und

$$r = 1 + \varepsilon \text{ Cos. } m$$

und davon giebt das Differential der ersten Gleichung

$$\frac{\partial v}{\partial m} = 1 - 2\varepsilon \text{ Cos. } m.$$

Da aber, wenn man wieder die höhern Potenzen von ε vernachlässigt,

$$\frac{1}{r} = 1 - \varepsilon \text{ Cos. } m,$$

also auch

$$\frac{1}{r^2} = 1 - 2\varepsilon \, \mathrm{Cos.}\, m$$

ist, so hat man auch

$$\frac{\partial v}{\partial m} = \frac{1}{r^2},$$

und somit

$$\frac{\partial v}{\partial v'} = \frac{r'^2}{r^2},$$

oder da wieder allgemein

$$\frac{r'}{r} = \frac{D}{D'}$$

ist, so erhält man für die elliptische Bewegung die Gleichung

$$\frac{\partial v}{\partial v'} = \frac{D^2}{D'^2}$$

und diese letzte Gleichung stimmt vollkommen mit den oben angeführten beobachteten Halbmessern und Geschwindigkeiten des Mondes in den beiden äufsersten Puncten seiner Bahn überein. In der That ist

$$\frac{\partial v}{\partial v'} = \frac{38,366}{29,447} = 1,3028$$

und

$$\frac{D^2}{D'^2} = \left(\frac{33,518}{29,366}\right)^2 = 1,3027,$$

wie die Beobachtungen ergeben.

In dem Vorhergehenden ist nun die erste Potenz der elliptischen Bahn, aber auch nur ein einziger Epicykel in Betrachtung gezogen worden. Es ist daher noch die Frage übrig, wie man diese Erscheinungen auf mehr als einen Epicykel fortsetzen soll, eine nicht eben überflüssige Frage, da schon die alten griechischen Astronomen bald bemerkten, dafs sie blofs mit einem Epicykel die Bewegungen der Planeten, besonders die des Mondes, keineswegs ihren Beobachtungen gemäfs darstellen konnten, und da ihre Nachfolger bis Tycho Brahe die Anzahl dieser Epicykel immer vermehrten, so oft sie durch ihre Beobachtungen wieder eine neue Ungleichheit des Mondes gefunden hatten.

Fig. 170. Sey demnach $Aa = a$ der Halbmesser des ersten oder festen Kreises; $aa' = a'$ der Halbmesser des ersten Epicykels, $a'a'' = a''$ der des zweiten, $a''a''' = a'''$ der des dritten Epicykels u. s. w.

und die Winkel, welche für denselben Augenblick diese Halbmesser unter einander bilden, seyen

$$A a a' = b'; \quad a a' a'' = b''; \quad a' a'' a''' = b''' \text{ u. s. w.}$$

Eine ihrer Lage nach willkürliche, durch den Mittelpunct A des ersten Kreises gehende Gerade bilde mit dem ersten Halbmesser $Aa = a$ den Winkel $BAa = b$. Endlich sey r die Entfernung des Mittelpuncts A von dem Mittelpuncte des letzten Epicykels, und φ der Winkel, den r mit AB, so wie Δ der Winkel, den dasselbe r mit dem ersten Halbmesser a bildet, also auch $b = \varphi + \Delta$.

Sind die Coordinaten $ac = y$; $a'c' = y'$; $a''c'' = y''$ u. s. w. senkrecht auf die feste Gerade AB, und ist $Ac = x$; $Ac' = x'$; $Ac'' = x''$ u. s. w., so erhält man, wie man sofort sieht, folgende einfache Gleichungen:

$$x = a \text{ Cos. } b$$
$$y = a \text{ Sin. } b$$
$$x' = x + a' \text{ Cos.} (b + b' - 2{,}90)$$
$$y' = y + a' \text{ Sin.} (b + b' - 2{,}90)$$
$$x'' = x' + a'' \text{ Cos.} (b + b' + b'' - 4{,}90)$$
$$y'' = y' + a'' \text{ Sin.} (b + b' + b'' - 4{,}90) \text{ u. s. w.,}$$

so dafs also überhaupt die beiden rechtwinkligen Coordinaten irgend eines der Mittelpuncte a, a', a''... seyn werden:

$$X = a \text{ Cos. } b - a \text{ Cos.} (b + b') + a'' \text{ Cos.} (b + b' + b'') - a''' \text{ Cos.} (b + b' + b'' + b''') + \ldots$$

$$Y = a \text{ Sin. } b - a \text{ Sin.} (b + b') + a'' \text{ Sin.} (b + b' + b'') - a''' \text{ Sin.} (b + b' + b'' + b''') + \ldots$$

Ist aber auf diese Weise X und Y bekannt, so findet man φ, Δ und r sofort aus den folgenden Gleichungen:

$$\text{Tang. } \varphi = \frac{Y}{X},$$

$$\text{Tang. } \Delta = \frac{Xy - Yx}{Xx + Yy} \text{ und}$$

$$r^2 = X^2 + Y^2.$$

Setzt man aber der Kürze wegen

$$\frac{a'}{a} = \alpha, \quad \frac{a''}{a} = \beta, \quad \frac{a'''}{a} = \gamma \ldots$$

so wird man aus der zweiten dieser Gleichungen, das heifst, aus

$$\text{Tang. } \Delta = \frac{\text{Tang. b} - \text{Tang. } \varphi}{1 + \text{Tang. b Tang. } \varphi},$$

wenn man in ihr den Werth von Tang. φ aus der ersten Gleichung substituirt, den Ausdruck erhalten:

$$\text{Tang. } \Delta = \frac{\alpha \text{ Sin. b}' - \beta \text{ Sin.}(\text{b}' + \text{b}'') + \gamma \text{ Sin.}(\text{b}' + \text{b}'' + \text{b}''') - \ldots}{1 - \alpha \text{ Cos. b}' + \beta \text{ Cos.}(\text{b}' + \text{b}'') - \gamma \text{ Cos.}(\text{b}' + \text{b}'' + \text{b}''') + \ldots}$$

Da es aber für viele Zwecke vortheilhafter seyn wird, diese geschlossenen Ausdrücke in Reihen zu entwickeln, die nach den Potenzen der als klein vorausgesetzten Gröſsen α, β, $\gamma \ldots$ fortgehn, wo nämlich die auf einander folgenden Epicykeln immer kleinere Halbmesser haben sollen, so setzen wir zuerst, um die folgenden Ausdrücke einfacher darstellen zu können,

$$2{,}90 - \text{b}' = \text{a};$$
$$4{,}90 - \text{b}' - \text{b}'' = \text{b};$$
$$6{,}90 - \text{b}' - \text{b}'' - \text{b}''' = \text{c};$$
$$8{,}90 - \text{b}' - \text{b}'' - \text{b}''' - \text{b}^{\text{IV}} = \text{d} \text{ u. s. w.}$$

wodurch der letzte Ausdruck für Δ in den folgenden übergeht:

$$\text{Tang. } \Delta = \frac{\alpha \text{ Sin. a} + \beta \text{ Sin. b} + \gamma \text{ Sin. c} + \delta \text{ Sin. d} + \ldots}{1 + \alpha \text{ Cos. a} + \beta \text{ Cos. b} + \gamma \text{ Cos. c} + \delta \text{ Cos. d} + \ldots}.$$

Ist aber e die Basis der natürlichen Logarithmen und setzt man der Abkürzung wegen

$$\varphi^{\text{a}} = \text{e}^{\text{a}\sqrt{-1}} + \text{e}^{-\text{a}\sqrt{-1}} \text{ und}$$
$$\psi^{\text{a}} = \text{e}^{\text{a}\sqrt{-1}} - \text{e}^{-\text{a}\sqrt{-1}},$$

so läſst sich die letzte Gleichung auch so schreiben

$$\frac{\text{e}^{2\Delta\sqrt{-1}} - 1}{\text{e}^{2\Delta\sqrt{-1}} + 1} = \frac{\alpha\psi^{\text{a}} + \beta\psi^{\text{b}} + \gamma\psi^{\text{c}} + \ldots}{2 + \alpha\varphi^{\text{a}} + \beta\varphi^{\text{b}} + \gamma\varphi^{\text{c}} + \ldots}$$

woraus sofort folgt

$$\text{e}^{2\Delta\sqrt{-1}} = \frac{2 + \alpha(\varphi^{\text{a}} + \psi^{\text{a}}) + \beta(\varphi^{\text{b}} + \psi^{\text{b}}) + \gamma(\varphi^{\text{c}} + \psi^{\text{c}}) + \ldots}{2 + \alpha(\varphi^{\text{a}} - \psi^{\text{a}}) + \beta(\varphi^{\text{b}} - \psi^{\text{b}}) + \gamma(\varphi^{\text{c}} - \psi^{\text{c}}) + \ldots}$$

Stellt man aber in der letzten Gleichung die Werthe von φ und ψ wieder her und nimmt man zu beiden Seiten des Gleicheitszeichens die Logarithmen, so erhält man

$$2\Delta\sqrt{-1} = \text{Log.}(1 + \alpha\text{e}^{\text{a}\sqrt{-1}} + \beta\text{e}^{\text{b}\sqrt{-1}} + \gamma\text{e}^{\text{c}\sqrt{-1}} + \ldots)$$
$$- \text{Log.}(1 + \alpha\text{e}^{-\text{a}\sqrt{-1}} + \beta\text{e}^{-\text{b}\sqrt{-1}} + \gamma\text{e}^{-\text{c}\sqrt{-1}} + \ldots)$$

Um diesen Ausdruck noch weiter zu reduciren und ihn von den imaginären Gröſsen zu befreien, bemerke man z. B. nach Euler's Differentialrechnung, daſs in der Gleichung

$\text{Log.}(1+p+q+r+s+..) = A - \frac{1}{2}B + \frac{1}{3}C - \frac{1}{4}D + \frac{1}{5}E - ..$
die Gröfsen A, B, C.. von den Gröfsen p, q, r.. auf folgende Weise abhängen:

$$A - p = 0;$$
$$B - Ap + 2q = 0;$$
$$C - Bp + Aq - 3r = 0;$$
$$D - Cp + Bq - Ar + 4s = 0 \text{ u. s. w.}$$

Substitirt man demnach für p, q, r.. unsere obigen Gröfsen $\alpha e^{a\sqrt{-1}}$; $\beta e^{b\sqrt{-1}}$; $\gamma e^{c\sqrt{-1}}$... und entwickelt man dann die Werthe von A, B, C... so setze man

$$A - \frac{1}{2}B + \frac{1}{3}C - \frac{1}{4}D + \ldots = S.$$

Substituirt man ebenso für p, q, r.. die Gröfsen $\alpha e^{-a\sqrt{-1}}$, $\beta e^{-b\sqrt{-1}}$, $\gamma e^{-c\sqrt{-1}}$.. und setzt ebenso

$$A - \frac{1}{2}B + \frac{1}{3}C - \frac{1}{4}D + .. = S',$$

so erhält man

$$\varDelta = \frac{S - S'}{2\sqrt{-1}},$$

so dafs man also, wenn man die angezeigten Entwickelungen in der That ausführt, den folgenden Ausdruck erhält, der uns die gesuchte Gröfse $\varDelta$ oder die Gleichung der Bahn des Planeten[1] durch die bekannten Gröfsen α, β, γ.. und a, b, c.. giebt:

$$\begin{aligned}\varDelta = & [\alpha \text{Sin. } a] \\ & + [\beta \text{Sin. } b - \tfrac{1}{2}\alpha^2 \text{Sin.} 2a] \\ & + [\gamma \text{Sin. } c - \tfrac{1}{2}.2\alpha\beta \text{Sin.}(a+b) + \tfrac{1}{3}\alpha^3 \text{Sin.} 3a] \\ & + [\delta \text{Sin.} d - \tfrac{1}{2}.2\alpha\gamma \text{Sin.}(a+c) + \beta^2 \text{Sin.} 2b + \tfrac{1}{3}.3\alpha^2\beta \text{Sin.}(2a+b) \\ & \qquad - \tfrac{1}{4}\alpha^4 \text{Sin.} 4a]\end{aligned}$$

u. s. w.

Von dieser Reihe ist das Gesetz des Fortgangs der Glieder für sich klar. So wird z. B. das nächstfolgende fünfte Glied seyn

$$\begin{aligned}[\varepsilon \text{Sin. } e & - \tfrac{1}{2}(2\alpha\delta \text{Sin.}(a+d) + 2\beta\gamma \text{Sin.}(b+c)) \\ & + \tfrac{1}{3}(3\alpha^2\gamma \text{Sin.}(2a+c) + 3\alpha\beta^2 \text{Sin.}(a+2b)) \\ & - \tfrac{1}{4}.4\alpha^3\beta \text{Sin.}(3a+b) + \tfrac{1}{5}\alpha^5 \text{Sin.} 5a].\end{aligned}$$

Mit Hülfe des letzten Ausdrucks wird man nun leicht die Bewegung der Planeten in der Ellipse, ihrer Länge oder ihrer Entfernung von der Sonne nach, so genau, als man will, darstellen können, obschon es, wie wir gesehn haben, unmöglich

1 Vergl. Art. *Mittlerer Planet* a. a. O.

ist, sie *zugleich*, in Beziehung auf Länge und Entfernung, mit der wahren elliptischen Bewegung übereinstimmend zu machen.

Nehmen wir der Kürze wegen an, dafs die Umlaufszeiten der Mittelpuncte aller Epicykeln unter einander gleich und jede derselben mit der anomalistischen Revolution des Planeten[1] identisch sey, so dafs nur noch die Bestimmung der verschiedenen Halbmesser der Epicykeln übrig bleibe. Unter dieser Voraussetzung erhält man, wenn m die mittlere Anomalie des Planeten bezeichnet,

$$b' = b'' = b''' .. = 180 - m$$
$$\text{und } a = \tfrac{1}{2} b = \tfrac{1}{3} c = \tfrac{1}{4} d .. = m.$$

Substituirt man aber diese Werthe in den oben aufgestellten Ausdrücken von Tang. Δ und Δ, so erhält man

$$\text{Tang.}\,\Delta = \frac{\alpha \operatorname{Sin.} m + \beta \operatorname{Sin.} 2m + \gamma \operatorname{Sin.} 3m + \delta \operatorname{Sin.} 4m + \ldots}{1 + \alpha \operatorname{Cos.} m + \beta \operatorname{Cos.} 2m + \gamma \operatorname{Cos.} 3m + \ldots}$$

und ebenso

$$\Delta = A \operatorname{Sin.} m - \tfrac{1}{2} B \operatorname{Sin.} 2m + \tfrac{1}{3} C \operatorname{Sin.} 3m - \tfrac{1}{4} D \operatorname{Sin.} 4m + \ldots$$

wo man zur Bestimmung der Gröfsen A; B; C .... die Ausdrücke hat:

$$\begin{aligned} &A - \alpha = 0; \\ &B - A\alpha + 2\beta = 0; \\ &C - B\alpha + A\beta - 3\gamma = 0; \\ &D - C\alpha + B\beta - A\gamma + 4\delta = 0 \text{ u. s. w.} \end{aligned}$$

Da aber die elliptische Gleichung des Mittelpuncts, nach dem Vorhergehenden, durch den Ausdruck gegeben ist:

$$\Delta = m - v = (2\varepsilon - \tfrac{1}{4}\varepsilon^3 + \tfrac{5}{96}\varepsilon^5 + \ldots) \operatorname{Sin.} m - (\tfrac{5}{4}\varepsilon^2 - \tfrac{11}{24}\varepsilon^4) \operatorname{Sin.} 2m + \ldots,$$

so darf man nur noch in den beiden letzten Ausdrücken von Δ die Factoren von Sin. m; Sin. 2 m; Sin. 3 m ... unter sich gleich setzen, um daraus die gesuchten Werthe der verschiedenen auf einander folgenden Halbmesser der Epicykel zu finden. Geht man z. B. bis zur vierten Potenz von ε fort, so findet man, wenn der Halbmesser A a = a des ersten Kreises in unserer Zeichnung gleich der Einheit angenommen wird, für den Halbmesser des

1 Vergl. Art. *Umlaufszeiten*. B. IX. S. 1214.

ersten Epicykels $\alpha = 2\varepsilon - \frac{1}{4}\varepsilon^3$;
zweiten — $\beta = \frac{5}{4}\varepsilon^2 - \frac{11}{24}\varepsilon^4$;
dritten — $\gamma = -\frac{1}{12}\varepsilon^3$;
vierten — $\delta = \frac{1}{24}\varepsilon^4$;

wo der negative Werth von γ andeutet, dafs die Bewegung in der Peripherie des dritten Epicykels eine den Bewegungen der anderen entgegengesetzte Richtung haben wird. Auf diese Weise kann man also allerdings durch mehrere gehörig gewählte Epicykel die elliptische Bewegung der Planeten in ihrer *heliocentrischen Länge*, aber keineswegs auch zugleich in ihrer richtigen Entfernung von der Sonne darstellen, und die grofsen Veränderungen des scheinbaren Durchmessers des Mondes hätten daher, wie wir bereits oben bemerkt haben, hinreichen sollen, den Alten zu zeigen, dafs sie durch ihre Kreise, so viele derselben sie auch über einander errichten wollten, die wahren Orte der Himmelskörper *nicht* darstellen können, oder mit andern Worten, dafs ihre Hypothese einer gleichförmigen Bewegung der Planeten in Kreisen unstatthaft sey, indem die Geschwindigkeit derselben keineswegs constant, wie sie die Natur des Kreises erfordert, sondern vielmehr eine wirklich, nicht blofs scheinbar veränderliche Geschwindigkeit ist.

D. Tycho's System.

Obschon das Copernicanische Weltsystem im Jahre 1543 erschien und obschon dadurch, da dieses System von jedem Verständigen sofort für das einzige wahre erkannt werden mufste, alle weitere Hypothesen über diesen Gegenstand geschlossen seyn sollten, so trat doch noch, beinahe ein halbes Jahrhundert später, ein anderer, und zwar einer der ausgezeichnetsten Beobachter mit einem neuen Weltsystem auf, dem es auch nicht an Anhängern fehlte, bis endlich die Wahrheit auch hier sich ihre Bahn gebrochen und für immer gesichert hatte. Tycho de Brahe[1] ist der Erfinder dieses nach ihm benannten Systems. In ihm ist, wie in den beiden andern erwähnten Systemen, die Erde T in Ruhe; um sie bewegt sich zunächst der Mond ☾ und in einer gröfsern Entfernung die Sonne S Fig. 171.

1 De mundi aetherei recentioribus phaenomenis. Uranib. 1588. Pragae 1603.

in Kreisen, deren Mittelpunct T ist. Die übrigen fünf Planeten bewegen sich ebenfalls in Kreisen, deren Mittelpunct aber nicht mehr die ruhende Erde, sondern die selbst um die Erde bewegte Sonne S ist. Mercur und Venus beschreiben um die Sonne kleinere Kreise, als der Sonnenkreis selbst ist, so dafs sie sich also von der Sonne, aus der Erde gesehn, nie weit entfernen und zuweilen zwischen ihr und der Erde durchgehn können, wie dieses den Beobachtungen gemäfs ist. Die andern Planeten aber beschreiben durchaus so grofse Kreise um die Sonne, dafs sie die Erde sammt dem Monde in ihrem Innern einschliefsen, daher diese Planeten, ebenfalls den Beobachtungen gemäfs, sich um die ganze Hälfte des Himmels, aus der Erde gesehn, von der Sonne entfernen und ihr daher auch gegenüberstehn oder mit ihr in Opposition treten können, was bei den zwei ersten Planeten nicht möglich ist. Auf die wahren Verhältnisse der Halbmesser dieser Kreise ist in dieser und in den anderen Figuren nicht gesehn worden, um den nöthigen Raum für die Zeichnungen zu sparen.

Tycho spricht bei der Bekanntmachung seines Systems in dem angeführten Werke, so wie auch später[1] von Copernicus und dessen System mit grofser Achtung und erkennt die gröfsere Einfachheit desselben willig an. Nur sey, wie er hinzusetzt, das Zeugnifs der h. Schrift ein unüberwindliches Hindernifs, um dieses von Copernicus aufgestellte System anzunehmen. Viel Scharfsinn ist übrigens auf dieses Tychonische System nicht verwendet worden. Da Copernicus einmal vorausgegangen war, so konnte es nicht schwer seyn, da und dort einige Aenderungen anzubringen, auch mufs dieses Copernicanische System, wenn man nur die Bewegung der Erde daraus wegnimmt, sofort in das Tychonische übergehn. Endlich war es auch die Zeit, in welcher die neuen Weltsysteme wie die Pilze in einer schwülen Sommernacht ebenso schnell entstanden, als sie wieder untergingen. Fracastor, Raimund Ursus, und wer sonst sich ein Astronom zu seyn rühmte, mufste auch, der Sitte jener Zeit gemäfs, ein neues Weltsystem aufstellen. Auch Tycho, dem es nicht an sehr reellen Verdiensten als Beobachter, aber auch nicht an einer oft sehr weit getriebenen Sucht zu glänzen fehlte, wollte hinter

1 In Astron. instaur. progymnas. Uranib. et Pragae 1602.

seinen Zeitgenossen nicht zurückbleiben, und sich wenigstens einen Theil des Ehrenkranzes zueignen, der auf der Büste seines grofsen Vorgängers strahlte. Seine Widerlegungen des Copernicanischen Systems sind übrigens ebenso schwach, als es die Vertheidigung seiner eigenen Hypothese ist, die gleich den vielen andern der verdienten Vergessenheit übergeben wurde, da sie der bereits geoffenbarten, anerkannten Wahrheit, nicht eines Buches, sondern des allgemeinen gesunden Menschenverstandes, widerstrebte, und da sie gröfstentheils nicht aus rein wissenschaftlichen Bestrebungen, sondern aus Selbstsucht und Privatinteresse hervorgegangen ist. *Opinionum commenta delet dies: judicia naturae autem confirmat.* Wenn man auch durch dieses System die Ungleichheiten, welche aus der jährlichen Bewegung der Erde folgen, noch zur Noth einigermafsen darstellen konnte, so verwickelte man sich doch durch den Mangel der täglichen Bewegung der Erde in die gröfsten und ganz unzulässigen Schwierigkeiten. Da Tycho auch diese tägliche Bewegung der Erde leugnete und sie durchaus in absoluter Ruhe annehmen wollte, so mufste er, die Bewegungen der Planeten den Beobachtungen gemäfs darzustellen, dieselben nicht in Kreisen, wie vorhin gesagt wurde, sondern in sehr complicirten Schraubengängen um die Erde führen, und weder er, noch irgend einer seiner vielen Anhänger hat es je gewagt, über die äufserst zusammengesetzte Bewegung der Planeten in solchen krummen Linien etwas Näheres festzusetzen. Sie fanden es vortheilhafter, diese tägliche Bewegung der Erde, die eigentliche schwache Seite ihres Systems, mit Stillschweigen zu übergehn.

Da indessen dieses System, so schlecht begründet es auch in rein wissenschaftlicher Beziehung war, Vortheile anderer Art zu verschaffen und eine damals sehr mächtige Parthei auf seine Seite zu ziehn wufste so konnte es ihm lange Zeit hindurch nicht an Anhängern fehlen. Die Astronomen des 17ten Jahrhunderts selbst theilten sich in *Copernicaner* und *Tychoniker*, und unter den letzten suchten besonders Dechales, der phantastische Arzt Morin, der Capuziner Rheita und der Jesuit Riccioli als Vorkämpfer für die von ihnen als heilig angegebene Sache ihren Copernicanischen Gegnern wenn nicht wahre wissenschaftliche Belehrung, so doch Verdrufs und Verfolgung zubereiten. Longomonton, der berühmteste unter

Tycho's Schülern, pflichtete zwar auch seinen Lehren bei, aber er entfernte sich auch wieder von ihm, indem er[1] sich zu der täglichen Bewegung der Erde um ihre Axe bekannte, eine Neuerung, die von den Tychonianern als eine Unbilde, die dadurch ihrem groſsen Meister angethan werden sollte, schnöde verworfen wurde, obschon sie eigentlich das einzige Mittel war, ihr falsches System wenigstens einige Zeit noch über dem Wasser zu erhalten. Der pomphafte Titel, unter welchem Tycho in dem ersten der oben erwähnten Werke ankündigt, ist folgender: *Nova mundani systematis hypothesis ab auctore nuper adinventa, quâ tum vetus illa ptolemaica redundantia et inconcinnitas, tum etiam recens copernicana in motu terrae physica absurditas excluduntur, omniaque apparentiis coelestibus aptissime correspondent.*

E. Copernicanisches System.

Nach diesem jetzt allgemein als das einzig richtige anerkannten Planetensystem ruht die Sonne S im Mittelpuncte der concentrischen Kreise, in welchen sich nach der in der Zeichnung angegebenen Ordnung Mercur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn bewegen, während zugleich jeder dieser Planeten, so wie die Erde, sich in einem seiner Tage um seine eigene Axe dreht. Fig. 172.

Durch die Drehung der Erde um ihre Axe von West gen Ost wird der tägliche Umschwung des Himmels mit allen seinen Gestirnen, der scheinbar von Ost gen West vor sich geht, und durch die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne werden die scheinbaren Retrogradationen und Stillstände der Planeten auf eine sehr einfache und überzeugende Weise erklärt, wie dieses bereits oben[2] gezeigt worden ist. Dieses System unterscheidet sich also von allen vorhergehenden vorzüglich dadurch, daſs in ihm die Erde nicht mehr als ein ruhender Körper, sondern selbst als ein Planet betrachtet wird, der, wie alle andere Planeten, um die Sonne geht und sich zugleich um seine eigene Axe dreht.

Die alten Griechen hatten bereits diese Ansicht von der Bewegung der Erde aufgestellt, und Copernicus gesteht auch

---

1 Astron. Danica. Amst. 1622.

2 S. Art. *Stillstand.* Bd. VIII. S. 1056.

willig, daſs er durch die hierher gehörenden Stellen in den uns von den Griechen hinterlassenen Schriften zuerst aufmerksam gemacht worden sey, diese Bewegung näher zu untersuchen. Aristoteles[1] schreibt die Lehre von der Bewegung der Erde den Pythagoräern zu, Plutarch[2] legt dem Heraklides von Pontus, dem Ecphantus und dem Seleucus von Erythräa die Meinung bei, daſs die Erde sich täglich um ihre Axe drehe, wobei diese Männer aber vielleicht die jährliche Bewegung der Erde nicht angenommen haben. So sagt auch Cicero[3] von Nicetas aus Syracus: *Nicetas Syracusius, ut ait Theophrastus, coelum, solem, lunam, stellas, supera denique omnia stare censet, neque praeter terram rem ullam in mundo moveri, quae cum circa axem se summa celeritate convertat et torqueat, eadem effici omnia, quasi stante terra coelum moveretur;* so daſs also, wie es scheint, Nicetas bloſs die tägliche Drehung der Erde um ihre Axe, nicht aber auch die jährliche Bewegung derselben um die Sonne richtig erkannt habe. Diesen Umlauf der Erde um die Sonne haben aber, wie Diogenes Laertius und Plutarch erzählen, sowohl Philolaus von Crotona, als auch Archytas von Tarent und Timaeus von Lokris gelehrt. Archimedes sagt in seiner Schrift *de Arenae numero* mit sehr ausdrücklichen Worten, daſs Aristarch die Erde sich in einem Kreise, in dessen Mittelpuncte die Sonne steht, sich bewegen läſst. Diese Meinung soll auch, wie Plutarch erzählt, Plato in seinen spätern Jahren angenommen und es öfter bedauert haben, daſs er in seinen frühern Schriften der Erde eine ganz unangemessene Stelle in der Mitte des Weltalls angewiesen habe, wobei sich Plutarch auf das wichtige Zeugniſs des Theophrast beruft, der eine, leider nicht auf uns gekommene, Geschichte der Astronomie geschrieben hat. Nach dem Berichte Plutarch's soll Philolaus, dessen äuſserst schätzbare Bücher über die Physik Plato um 10,000 Drachmen angekauft hat, gelehrt haben, daſs das Feuer (die Sonne?) im Mittelpuncte des Weltalls ruhe und daſs sich um dieses Feuer die Erde drehe, und Aristoteles setzt hinzu, daſs derselbe Philolaus die jährliche Bewegung der

---

1 De Coelo Lib. II. Cap. 13.
2 De placitis Philosophorum. Lib. III. Cap. 13 u. 17.
3 Quaest. acad. Lib. IV. Cap. 39.

Erde um die Sonne und zugleich die tägliche Bewegung derselben um sich selbst angenommen hat. Boulliaud, der im J. 1645 ein grofses astronomisches Werk herausgab, hält daher den Philolaus für den eigentlichen Begründer des Copernicanischen Systems, daher er sein Werk, in welchem er dieses System vorträgt, *Astronomia Philolaica* betitelte. Allein diese und mehrere andere Stellen der Alten waren wohl sehr sinnreiche, aber doch nur auf gut Glück hingeworfene, durch keine Beweise und vor allem durch keine Rechnungen unterstützte Meinungen, daher sie auch nur zu bald wieder vergessen wurden. Es ging mit ihnen, wie es mit der Aeufserung Seneca's [1] und mit den vielen andern Stellen über die Anziehung der Sonne u. s. w. gegangen ist, welche die Alten auch geahnet, aber eben nur vermuthet, nicht bewiesen haben, und die daher auch im Strome der Zeit verloren gegangen sind, ohne weiter eine Spur hinter sich zurückzulassen.

Merkwürdig mag es indefs erscheinen, dafs dieselben Alten, deren liberale Ansichten von den Neuern so oft angeführt werden, die Lehre von der Bewegung der Erde auch zuweilen von der religiösen Seite angegriffen und ihr selbst Verfolgungen zugezogen haben. Aristoteles [2] vertheidigt die Lehre von der absoluten Ruhe der Erde mit vielen, obgleich sehr schwachen Gründen, und beschuldigt die Pythagoräer, dafs sie die Erscheinungen der Natur nach ihren Hypothesen drehn, statt diese Hypothesen jenen Erscheinungen anzupassen. Diese dreiste und auf nichts gegründete Behauptung des grofsen Philosophen hat bei der grofsen Verehrung, die demselben in der Folgezeit zu Theil wurde, der guten Sache sehr geschadet, da es im Mittelalter auf mehrern Universitäten Sitte war, die Lehrer derselben beim Antritte ihres Amtes einen Eid ablegen zu lassen, dafs sie ihren Zuhörern nichts vortragen würden, was mit den Lehren des Stagiriten nicht im vollen Einklange stehe, und da selbst das Cardinalcollegium zu Rom, als der Streit wegen des neuen Systems lebhafter wurde, die Sätze des Aristoteles, in welchen er die Bewegung der Erde widerlegen wollte, in seinen besondern Schutz genommen hatte. Man hat diese neue Art von Beschützung der sogenannten

---

1 Quaest. natur. Lib. VII. Cap. 13.

2 De Coelo. Lib. I et II.

Wahrheit mit Recht übel genommen, aber man hätte dabei wenigstens bemerken sollen, daſs sie keineswegs neu, sondern vielmehr schon sehr alt sey. Nach PLUTARCH[1] muſs schon bei den alten Griechen die Bewegung der Erde als ein ketzerischer Lehrsatz betrachtet worden seyn, da sie von dem Stoiker KLEANTHES sagten, daſs er der Gottlosigkeit oder Unfrömmigkeit (*ἀσεβείας*) angeklagt werden soll, weil er die Festigkeit der Erde nicht glauben will (*ὡς κινοῦν τοῦ κόσμου τὴν ἑστίαν*). Auch COPERNICUS scheint Aehnliches besorgt zu haben, da er seine Entdeckungen so spät erst bekannt machte, und wenn man nach dem Schicksal, welches GALILEI erlitt, schlieſsen darf, so mag er mit seiner Zurückhaltung sehr wohl gethan haben.

NICOLAUS COPERNICUS (KÖPERNIK) ward am 19. Februar 1472 in der Stadt Thorn geboren, und starb am 24. Mai 1543, noch ehe sein unsterbliches Werk, *De orbium coelestium revolutionibus Libri VI*, zu Nürnberg die Presse völlig verlassen hatte. Er studirte die Medicin an der Universität zu Krakau, wo er auch zum Doctor creirt worden ist. In seinem 23sten Jahre machte er eine Reise nach Italien, wo er sich bei DOMINIC MARIA, dem Astronomen zu Bologna, längere Zeit aufhielt und wo sein Sinn für Astronomie erwachte. In Rom, wo er im J. 1500 einige Beobachtungen machte, wurde er zum Professor der Mathematik ernannt. Sein Onkel, Bischof von Ermeland, verschaffte ihm später ein Canonicat an seiner Cathedrale zu Frauenberg am Ausfluſs der Weichsel, und in dieser letzten Stadt war es, wo sich COPERNICUS ganz seiner Lieblingswissenschaft hingab. PURBACH und REGIOMONTAN waren hierin seine Muster; der Bischof aber, sein Onkel und Mäcen, hieſs LUCAS WEISSELRODT und war der Bruder von der Mutter des COPERNICUS. Sein Leben ist von GASSENDI und in den neuern Zeiten von LICHTENBERG[2] beschrieben worden.

Bei seinen astronomischen Studien fiel ihm besonders der Umstand auf, daſs in dem epicyklischen Systeme des PTOLEMÄUS, welches damals noch als das einzig wahre galt, die Bewegung der Planeten um einen bloſs eingebildeten Punct, den

---

1 De facie in orbe Lunae.

2 Dessen vermischte Schriften. Bd. VI. S. 1.

Mittelpunct des Epicykels, statt haben sollte. Wenn dieser Mittelpunct in der Peripherie des grofsen Kreises durch die Kraft der in der Mitte dieses Kreises ruhenden Erde bewegt wird, durch was soll dann der Planet selbst in der Peripherie des kleinern Kreises, dessen Mittelpunct ganz leer ist, in Bewegung gesetzt werden?

Von diesem Zweifel beunruhigt wandte er sich zu dem damals in hohem Ansehn stehenden Werke des Marcianus Capella, eines Schriftstellers des fünften Jahrhunderts, und zu dem Werke des alten Griechen Apollonius von Perga, der nahe 200 Jahre vor Chr. Geb. in Alexandrien lebte und dessen sehr sinnreiche Schriften über die Kegelschnitte gröfstentheils wenigstens auf uns gekommen sind. Marcianus Capella war ein Anhänger des oben erwähnten ägyptischen Systems, nach welchem die Sonne und die drei obern Planeten in Kreisen um die ruhende Erde gehn, während die zwei untern Planeten die Sonne auf ihrer Bahn umkreisen. Diese Anordnung hatte bald seinen Beifall gewonnen, aber Apollonius ging noch weiter, indem er alle Planeten um die Sonne in Kreisen gehn liefs, während die Sonne selbst wieder um die im Mittelpunct des Himmels ruhende Erde sich bewegte, welche letzte Darstellung ganz mit dem Tychonischen Systeme übereinstimmt, wie auch schon Gassendi in der Biographie des Copernicus bemerkt hat. Diese Aenderung des ägyptischen Systems konnte einem so reinen Geiste nicht anders als sehr gefallen, nur fand er es noch sonderbar, dafs die Sonne, die doch der Mittelpunct aller Planetenbahnen ist, nicht auch zugleich der Mittelpunct des Himmels seyn, sondern diesen vielmehr der Erde abtreten sollte. Es schien ihm schwer, anzunehmen, dafs diese Sonne, welche durch ihre Macht alle Planeten um sich führen und die daher ein sehr grofser und mächtiger Körper seyn müsse, doch nicht nur jährlich um die vielleicht viel kleinere Erde von West gen Ost, sondern auch noch überdiefs an jedem Tage von Ost gen West durch den ganzen Himmel sich bewegen sollte. Die Schriften der Alten, seine Lieblingslectüre, zeigten ihm bald, dafs mehrere von ihnen nicht angestanden haben, diese Sache ganz umzukehren, und nicht die Sonne um die Erde, sondern die Erde um die Sonne sich bewegen liefsen. Er ahmte also diesem Beispiele nach und versuchte es, die Erscheinungen des Him-

mels sich unter der Voraussetzung zu erklären, daſs die Sonne still stehe und die Erde sammt allen Planeten sich um sie und zugleich um ihre eigene Axe bewegen, und er bemerkte bald zu seiner nicht geringen Freude, daſs diese an sich so einfach und natürlich scheinende Darstellung jene Erscheinungen des Himmels auf eine sehr genügende Weise erkläre.

Bereits im J. 1507, in seinem 35sten Lebensjahre, hatte er diese Entdeckung gemacht, die seinen Namen auf die fernsten Zeiten bringen sollte, aber er wollte sie nicht eher mittheilen, bis er die Wahrheit derselben nach allen Seiten erprobt haben würde. Sein Vorsatz war, jeden Planeten einzeln auf das Genaueste in seinen Bewegungen zu prüfen und von ihnen eigene Tafeln zu construiren, die jene von Ptolemäus und König Alphons an Genauigkeit weit übertreffen sollten. Zu diesem Zwecke lieſs er sich mehrere von den Instrumenten, die er in Ptolemäus beschrieben fand, und einen groſsen Quadranten verfertigen, beobachtete damit durch mehrere Jahre sehr eifrig, berechnete die auf diese Beobachtungen gegründeten Planetentafeln, und vollendete endlich sein groſses Werk im J. 1530. Aber auch jetzt noch zögerte er mit der Herausgabe desselben, und noch 13 andere Jahre muſsten verflieſsen, bis er sich endlich entschloſs, seine Entdeckungen der Mit- und Nachwelt bekannt zu machen. Der Cardinal von Schomberg, Bischof zu Padua, ersuchte ihn im J. 1536 schriftlich um die Mittheilung seiner Schriften, und Georg Rhaeticus gab seine Professur der Mathematik in Wittenberg auf, um sich zu Copernicus nach Frauenberg zu begeben und ihm zur Vollendung seines Werkes behülflich zu seyn. Endlich erschien dasselbe unter dem bereits oben angeführten Titel zu Nürnberg im Jahre 1543 in Folio, mit einer Zueignungsschrift an Papst Paul III. Er stellte in diesem Werke sein System nur als eine Hypothese dar, wodurch man die Erscheinungen der Planeten auf eine einfachere Weise, als bisher, darstellen könne; aber aus dem Buche selbst sieht man deutlich, daſs sein Verfasser diese Hypothese mit innerer Ueberzeugung als die einzig wahre und mögliche erkannt habe. Von der Wirkung seiner Sätze bei den Lesern konnte er nicht Zeuge seyn, da sein Leben plötzlich durch einen Blutsturz geendet wurde, am 24sten Mai 1543, noch bevor er die ersten Aushän-

gebogen seines Werkes aus Nürnberg erhalten hatte. Er wurde in der Kirche zu Frauenberg begraben. Sein Werk aber wurde noch einmal durch Rhaeticus in Basel 1566, und später 1617 in Amsterdam aufgelegt. Seine Beobachtungen erschienen im J. 1666 mit denen des Tycho. In Krakau endlich sollen noch Manuscripte von seiner Hand aufbewahrt seyn. Die ersten nach diesem Systeme berechneten Tafeln gab Erasmus Reinhold[1], Professor zu Wittenberg, heraus.

Das Copernicanische System fand, wie alle neuen Wahrheiten, nur sehr langsamen Eingang bei den Zeitgenossen. Aufser den beiden schon genannten Gelehrten, Rhaeticus und Reinhold, können wir nur noch Christoph Rothmann und Möstlin, den Lehrer Kepler's, der auch Galilei zu dem neuen Systeme bewogen haben soll, als die eigentlichen Copernicaner des 16ten Jahrhunderts nennen. Ja selbst Möstlin[2] trug nur das Ptolemäische System vor. Die Ursachen dieser lauen Aufnahme waren, nebst der gewohnten Anhänglichkeit an alles Alte und der Scheu vor allem unbequemen Neuen, die Schwierigkeit, sich über den äufsern Schein zu erheben und von tief eingewurzelten Vorurtheilen zu befreien, vorzüglich aber die Besorgnifs, sich seinen eigenen Feinden blofs zu stellen, wenn man sich den Machtsprüchen der Schule und der Autorität der damals sehr mächtigen Kirche widersetzte, welche beide die Unbeweglichkeit der Erde aus den Werken des Aristoteles und aus einigen Stellen des alten Testaments als einen Lehrsatz aufgestellt hatten, an dem zu zweifeln sie für höchst strafbar erklärten.

Wenn er aber auch von seinen Zeitgenossen nicht anerkannt wurde, die Nachwelt ehrt ihn als den eigentlichen Begründer der wahren Astronomie und zugleich als einen Mann von seltener Umsicht und Charakterstärke. Er hat den Ruhm, in dem grofsen Kampfe, welchen der Irrthum, mit aller Macht des sinnlichen Scheins und durch die äufsere Autorität unterstützt, gegen zwei volle Jahrtausende mit der Wahrheit kämpfte, durch einen entscheidenden Schlag den Sieg auf die Seite dieser Wahrheit, und zwar für immerwährende Zeiten, gebracht zu haben, da es fortan, wo diese Wahrheit einmal erkannt ist,

1 Tabulae Prutenicae. Witemb. 1551.
2 Epitome Astronomiae. Heidelb. 1582.

nur dem Unverstande überlassen bleibt, daran ändern oder an ihrer Richtigkeit zweifeln zu wollen. Das System seines grofsen griechischen Vorgängers mit seinem künstlichen epicyklischen Gerüste war eins der sonderbarsten und complicirtesten, das jemals ausgedacht wurde, ein Gewebe von Scharfsinn, Spitzfindigkeit und Verblendung, von Wahrheit und Falschheit, aus dem sich der menschliche Geist, einmal darin verstrickt, kaum mehr herauswinden konnte. Zwar regte sich die Stimme der reinen Wahrheit zuweilen gegen dieses sinnlose Treiben, aber sie war zu schwach, in dem allgemeinen Getümmel vernommen zu werden. Sie wurde von der grofsen Mehrheit, die kaum von Allgemeinheit unterschieden war, übertäubt, so oft sie sich in dem sie von allen Seiten umgebenden Dickicht Bahn zu machen suchte. Auf diese Weise bemächtigte sich nach und nach ein systematischer Irrthum des erhabensten Theils der Naturlehre, und befestigte sich auf seinem usurpirten Thron, nicht nur durch das Ansehn des Alterthums, sondern auch sogar noch durch eine Art von religiöser Sanction. Es gehörte ein reiner, starker, charaktervoller Geist dazu, inmitten aller dieser Hindernisse die Wahrheit zu erkennen, sie festzuhalten und ihr endlich auch bei anderen die ehrenvolle Aufnahme zu sichern, die sie so lange schon entbehren mufste.

Der Erste, der zu der allgemeinern Annahme des neuen Systems, aufser seinem Entdecker, beitrug, war Galilaeus Galilei, der im J. 1564, einundzwanzig Jahre nach dem Tode des Copernicus, geboren wurde und im hohen Alter 1642 starb. Das neuerfundene Fernrohr in den Händen Galilei's zeigte die Phasen Mercurs und der Venus, die Jupiterssatelliten, die Aehnlichkeit des Mondes mit der Erde, die Umdrehung der Sonne durch die Beobachtung ihrer Flecken u. s. w. Dadurch wurde nun Jedermann klar, dafs Mercur und Venus in der That um die Sonne laufen; dafs alle Planeten an sich dunkle, aber von der Sonne beleuchtete Körper sind; dafs sich diese Weltkörper, also auch wohl unsere Erde, um ihre Axen drehn können; dafs die Erde mit ihrem Monde sich in völlig gleichem Fall, wie Jupiter mit seinen Satelliten, befinde, und dafs die Sonne, als der einzig leuchtende und bei weitem gröfste Körper, der vornehmste, der Centralkörper des ganzen Systems seyn müsse. Dazu kam noch, dafs Galilei die

bisher ganz dunkle Lehre von der Bewegung und von dem freien Falle der Körper in ihr gehöriges Licht gesetzt und dadurch gleichsam sich zu dem Gründer der Mechanik, einer den Alten ganz unbekannten Wissenschaft, gemacht hat. Dieses gab ihm Gelegenheit, die Schwäche der Aristotelischen Behauptungen und die großen Irrthümer der Scholastiker zu zeigen, und dadurch nicht nur sich selbst, sondern auch seine Zeitgenossen von den Vorurtheilen zu befreien, welche die Vorgänger so lange gefesselt hatten. Besonders aber nahm sich Galilei des Copernicanischen Systems eifrig an, als dessen erster Verfechter er bald anerkannt wurde. Allein ebenso bald erhoben sich auch seine Gegner, die nun erst und durch ihn selbst die Wichtigkeit des Streites kennen lernten, der sie um ihre bisherigen unbestrittenen Rechte und Vortheile zu bringen drohte. Da man aber mit Vernunftgründen gegen Galilei nichts ausrichten konnte, indem dieser alle Gründe dieser Art schon auf seine eigne Seite gebracht hatte, so suchte man nun die Waffen der Autorität und der äußern Macht gegen ihn in Bewegung zu setzen. Auf diese Weise kam es, daſs die zur Büchercensur verordnete Congregation der Cardinäle zu Rom im J. 1615 (72 Jahre nach dem Tode des Copernicus) das neue Weltsystem als schriftwidrig und ketzerisch erklärte, daſs alle Stellen des Copernicanischen Werks, welche jenes System als Thatsache darstellten, verdammt und zugleich auch die demselben Systeme huldigenden Schriften des Foscarini verboten wurden. Galilei selbst, dessen Entdeckungen und bisherige schriftliche Aeuſserungen dem neuen Systeme ebenfalls beizupflichten schienen, ward noch in demselben Jahre nach Rom vorgeladen und konnte nur durch die Erklärung, daſs er bei den alten Lehren bleiben wolle, der ihm drohenden Gefahr entgehen. Allein es war ihm nicht gegeben, die einmal anerkannte Wahrheit lange zu verleugnen. Siebenzehn Jahre später erschienen seine Dialogen[1], die denn auch bald in der lateinischen Uebersetzung des Matthias Bernegger[2] auſser Italien verbreitet und allgemein gelesen wurden. Galilei glaubte recht fein und vorsichtig zu handeln, als er in der

1 Florenz 1632. 4.

2 Galilaei Galilaei Lyncei, Academiae Pisanae Mathematici cet. Systema cosmicum. Lugd. 1741. 4.

Vorrede zu diesem Werke erklärte: „da man im Auslande „gesagt und selbst geschrieben hat, dafs die Verurtheilung des „neuen Systems von einem Tribunal ausgegangen sey, welches „die Gründe dieses Systems gar nicht kenne, so wolle er im „Gegentheile hier zeigen, dafs die italienischen Gelehrten mit „diesen Gründen ganz ebenso gut bekannt wären, als die aus- „ländischen.“ Diese *Dialogen* und eine andere anonyme Schrift[1] waren die zwei ersten namhaften Vertheidigungen des neuen Systems.

Die grofse Wirkung dieser Schrift des Galilei und das Lächerliche, welches sie über die Gegner des neuen Systems verbreitete, war Ursache, dafs er schon im Jahre 1632, in welchem jene Schrift erschien, vor das Tribunal der Inquisition zu Rom berufen wurde. Gegen die Proceduren, die man hier über ihn einleitete, konnte ihn sein Landesherr und Gönner, der Grofsherzog von Toscana, nicht schützen. Nachdem man ihn fast ein Jahr lang mit übrigens leidlichem Gefängnifs in der Wohnung des französischen Gesandten zu Rom hingehalten hatte, wurde er am 20. Junius 1633 vor das Tribunal citirt und zu einem förmlichen Widerruf seiner bisherigen, diese Systeme betreffenden Lehren gezwungen. Hierauf wurde er zu lebenslänglichem Gefängnifs verurtheilt, welches man jedoch schon im folgenden Jahre in eine blofse Beschränkung seines Aufenthalts auf das florentinische Gebiet verwandelte, woselbst er auch bis an seinen Tod auf seinem Landsitze Arcetri sich aufhielt, hochgeachtet von Allen, die ihn kannten, und in steter Umgebung von seinen Schülern und Freunden, die von ihm zu lernen und ihm die letzten Jahre seiner Einsamkeit, die er ohne Augenlicht verleben mufste, durch ihre Liebe und Anhänglichkeit zu erheitern suchten. Seine Biographie ist von P. Frisi[2] und von M. Fabroni[3] gegeben worden[4].

Inzwischen erhoben sich zu derselben Zeit überall heftige

---

1 Novantiqua SS. Patrum et Theologorum doctrina. Aug. Vindel. 1636.

2 Mailand 1778.

3 Vies des hommes célèbres d'Italie.

4 Die Geschichte seines Processes vor der Inquisition findet man in Riccioli almagestum novum. Vol. II. L. 9. und in der französischen Zeitschrift *Mercur* von 17. Juli 1784 und 8. Januar 1785.

Streitigkeiten. Morin, Professor der Mathematik am königl. Collegium zu Paris, dem man die glückliche Idee, das Fernrohr an die astronomischen Mefsinstrumente anzubringen, verdankt, hatte den unglücklichen Einfall, in einer Schrift als Gegner des Copernicus aufzutreten; Gassendi[1] widerlegte ihn aber siegreich. Auch das Collegium der Sorbonne zu Paris, das aus Jesuiten bestand, war schon im Begriffe, zur Nachahmung der römischen Handlungsweise das neue System auch vor ihr eigenes Tribunal zu ziehn, wurde aber durch ein einsichtsvolles Mitglied derselben an der Ausführung ihres Vorsatzes gehindert. In den Niederlanden erhob sich Fromond in Löwen gegen Copernicus, der aber wieder von Lansberg vertheidigt wurde. Die zwei bedeutendsten Gegner des neuen Systems waren Tycho Brahe, der sein eigenes auf den Trümmern von jenem erbauen wollte, und der Jesuit Riccioli, der in zwei starken Foliobänden (*Almagestum novum*) gegen Copernicus auftrat. Von den Einwürfen dieser beiden Gegner wird weiter unten die Rede seyn. Unter den durch Schriften thätigen Freunden des neuen Systems erschienen Bouillaud[2] (gest. 1694), Lipstorp[3], Wilkins[4] und Zimmermann[5], der sich besonders über die Stellen der h. Schrift verbreitet, die man gegen jenes System in frühern Zeiten so oft anzuwenden gesucht hat. Der grofse Kepler hat zwar keine eigene und besondere Vertheidigung des Copernicus unternommen, aber seine eigenen unsterblichen Entdeckungen sind ganz auf dem Copernicanischen System erbaut; sie setzten dieses System als bereits gegeben oder bewiesen voraus und können ohne dasselbe nicht bestehn; ja sie geben dem Copernicanischen System erst seine eigentliche Vollendung, indem sie die excentrischen Kreise und die Alles verwirrenden Epicykel, die Copernicus unberührt stehn liefs, aus dem Systeme völlig entfernen, dafür aber die elliptischen Bewegungen einführen und dadurch die

1 De motu impresso a motore translato. L. B. 1649.

2 Astronomia philolaica. 1639; eins des besten astronomischen Werke des 17ten Jahrhunderts.

3 Copernicus redivivus. L. B. 1653.

4 Copernic defended. London 1660; deutsch: Vertheidigter Copernicus. Leipz. 1713.

5 Scriptura sacra copernizans. Frankf. 1690.

gesammten Erscheinungen der Planeten auf ebenso einfache als allgemeine Gesetze zurückführen.

Es wird unnöthig und unserer Zeit nicht mehr angemessen scheinen, die Erklärungen der Erscheinungen des Himmels, wie sie unmittelbar aus dem neuen Systeme folgen, hier umständlich vorzutragen. Nach diesem Systeme wird die tägliche Umdrehung des ganzen Himmels um die Pole von Morgen gen Abend nur als eine scheinbare Bewegung dargestellt, die ihren Grund in der wirklichen Umdrehung der kugelförmigen Erde um ihre Axe von Abend gegen Morgen hat. Ebenso wird der bloſs scheinbare jährliche Umlauf der Sonne in der Ekliptik ganz ebenso gut dargestellt, wenn man die Sonne ruhen und dafür die Erde um sie in derselben Ekliptik sich bewegen läſst. Wie aus dieser doppelten Bewegung der Erde die Tages- und Jahreszeiten und die Stationen und Retrogradationen der Planeten auf das Einfachste und Genügendste dargestellt werden, ist bereits an mehr als einem Orte dieses Werkes gezeigt worden.

F. Beweise für die Kugelgestalt der Erde.

Daſs die Erde die von Copernicus vorausgesetzte Gestalt einer Kugel habe, wird hier ebenfalls keiner weiteren Beweise bedürfen. Diese Beweise folgen bekanntlich aus dem allmäligen Verschwinden der unteren Theile von hohen Gegenständen, Gebäuden, Schiffen oder Gebirgen, wenn man sich mehr und mehr von ihnen entfernt; ferner aus den Erscheinungen, welche uns die Gestirne darbieten, wenn wir in der Richtung des Meridians auf der Erde reisen; aus unsern sogenannten Reisen um die Welt; aus dem Schatten der Erde bei Mondfinsternissen; aus unmittelbaren Messungen der Oberfläche der Erde (den sogenannten Gradmessungen) und endlich aus der Analogie mit den andern ihr ähnlichen Himmelskörpern, den Planeten und Satelliten, die durchaus alle die Gestalt einer Kugel haben. Von diesen bekannten Beweisen für die Kugelgestalt der Erde möchte bloſs der von dem Erdschatten bei Mondfinsternissen noch eine Erläuterung verdienen. Man sieht bei diesen Finsternissen den Schatten der Erde auf dem Vollmonde immer nahe kreisrund und schlieſst davon auch sogleich rückwärts auf die kugelrunde Gestalt der Erde. Allein wenn eine Kugel

auch z. B. von einer Ebene geschnitten wird, so ist der so entstehende Schnitt immer ein Kreis, und ein Kreis wird, von der Seite betrachtet, immer als eine Ellipse gesehn. Wenn also der Mond, wie Niemand zweifelt, selbst eine Kugelgestalt hat, so würde auch die Schattengrenze der Erde bei Mondfinsternissen einem zur Seite stehenden Zuschauer elliptisch oder im Allgemeinen rund erscheinen, wenn gleich die Erde keine Kugel, sondern z. B. eine ebene Tafel oder einer von solchen ebenen Tafeln begrenzter Körper wäre, so daſs also jene runde Form des Erdschattens nichts für die Kugelgestalt der Erde zu beweisen scheint. Allerdings erscheint der Schnitt einer jeden Kugel, wie hier des Mondes, durch eine Ebene dem zur Seite stehenden Beobachter als eine Ellipse, und zwar als eine desto schmälere Ellipse, je näher der Beobachter jener schneidenden Ebene steht. Liegt sein Auge in dieser Ebene selbst, so geht die Ellipse, deren kleine Axe jetzt völlig verschwindet, in eine gerade Linie über. Allein die Beobachter auf der Oberfläche der Erde sind, zur Zeit einer Mondfinsterniſs, immer sehr nahe in dieser schneidenden Ebene, welche hier die Schattenoberfläche der Erde ist, und sie würden daher, wenn diese Schattenfläche eine Ebene, wenn also auch die Erde selbst eine ebene Tafel oder von solchen Tafeln begrenzt wäre, die Grenze dieses Schattens auf dem Monde als eine gerade Linie erblicken. Allein sie sehn diese Grenze immer nur als eine krumme Linie, woraus denn sofort folgt, daſs die Erde selbst ebenfalls von einer krummen Fläche begrenzt seyn müsse.

Ebenso ist oben gesagt worden, daſs aus den Erscheinungen derjenigen, die in der Richtung des Meridians auf der Erde reisen, die Kugelgestalt der Erde folge. Wenn man nämlich z. B. von Süd gen Nord um 1, 2, 3... Grade auf der Erde fortschreitet, so nimmt auch die Höhe der Sterne im Meridian in eben demselben Verhältnisse von 1, 2, 3... Graden zu. Nennt man s den Bogen, den man auf diese Weise auf der Erde zurücklegt, und ω den Winkel, welchen die beiden Normalen an den Endpuncten dieses Bogens unter sich bilden, so soll also jeder Durchschnitt der Erdoberfläche, der in der Richtung eines Meridians geführt wird, die Eigenschaft haben, daſs in der so entstehenden krummen Linie des Durchschnitts das Element des Bogens ∂s zu dem Elemente seiner Amplitude $\partial \omega$ ein constantes Verhältniſs habe. Nennen wir dieses Ver-

hältnifs a, so hat man für die Differentialgleichung der gesuchten Curve

$$\frac{\partial s}{\partial \omega} = a.$$

Ist aber r der Krümmungshalbmesser, so ist für jede Curve $\partial s = r \partial \omega$, also auch $r = a$, oder die gesuchte Curve ist der Art, dafs ihr Krümmungshalbmesser für alle Puncte denselben Werth hat. Es ist aber überhaupt, wenn ∂x constant ist,

$$r = -\frac{\partial s^3}{\partial x \partial^2 y},$$

wo x und y die senkrechten Coordinaten eines Punctes der gesuchten Curve bezeichnen. Setzt man der Kürze wegen $p = \frac{\partial y}{\partial x}$, so hat man, da $\partial s^2 = \partial x^2 + \partial y^2$ ist, für den Krümmungshalbmesser auch den Ausdruck

$$r = -\frac{\partial x}{\partial p} \cdot (1 + p^2)^{\frac{3}{2}},$$

so dafs man daher, wenn man $r = a$ setzt, für die Meridiane der Erde die Gleichung erhält

$$\frac{\partial x}{a} + \frac{\partial p}{(1 + p^2)^{\frac{3}{2}}} = 0.$$

Von diesem Ausdrucke ist das Integral

$$\frac{x}{a} + \frac{p}{\sqrt{1 + p^2}} = \frac{b}{a},$$

wo b die Constante der Integration bezeichnet. Diese Gleichung aber kann auch so geschrieben werden:

$$p = \frac{b - x}{\sqrt{a^2 - (b - x)^2}}$$

oder endlich, da $p = \frac{\partial y}{\partial x}$ ist,

$$\partial y = \frac{(b - x) \partial x}{\sqrt{a^2 - (b - x)^2}},$$

und von dieser letzten Gleichung ist wieder das Integral

$$y = c + \sqrt{a^2 - (b - x)^2}$$

oder endlich

$$(c - y)^2 + (b - x)^2 = a^2,$$

und dieses ist die bekannte Gleichung des Kreises, dessen Halbmesser a und dessen Coordinaten des Mittelpunctes b und c sind.

Aus der vorhergehenden Analyse folgt daher, dafs alle Meridiane der Erde die Gestalt eines *Kreises* von demselben Halbmesser haben, wenn man nämlich die Abplattung der Erde hier unberücksichtigt läfst. Daraus würde nun allerdings noch nicht der Schlufs zu ziehn seyn, dafs die Erde die Gestalt einer Kugel haben müsse, sie könnte vielmehr auch noch ein Cylinder mit kreisförmiger Basis seyn, dessen Axe in der Richtung von Ost nach West gelegt ist. Allein in diesem Falle würden alle irdische Meridiane unter einander *parallele* Kreise seyn und jedes Gestirn würde an *allen* Orten der Erde in einem und demselben Augenblicke culminiren oder durch den Meridian gehn. Nun ist aber bekannt, dafs dieses nicht der Fall ist. Für die Sonne z. B. haben, wenn an einem Orte eben Mittag ist, alle westlich hiervon liegende Orte noch Vormittag und alle östliche schon Nachmittag u. s. w., also folgt aus dem Vorhergehenden, dafs die Erde eine der Kugel wenigstens nahe kommende Gestalt haben werde.

Dieses führt auf die verwandte Frage, warum uns auch der über uns sichtbare Himmel in der Gestalt eines gedrückten kugelförmigen Gewölbes erscheint, und wie grofs diese Drükkung ist?

Fig. 173. Sey C der Mittelpunct der Erde, so erscheint dem Beobachter in D der ihm sichtbare Theil des Himmels unter dem Bogen BAb, nicht aber unter dem Halbkreise EAe, wenn die Geraden BDb und ECe auf dem Halbmesser CD des Beobachters senkrecht stehn. Wenn nämlich der Beobachter in D einen Stab DM gegen sein Auge so stellt, dafs derselbe die ihm sichtbare Hälfte BA des Himmels in dem Puncte M halbirt, so wird er den Winkel BDM keineswegs gleich 45°, sondern vielmehr nur nahe gleich 23° finden. Unter dieser Voraussetzung, wie grofs ist dann das Verhältnifs der beiden Linien BD und AD, oder, was nahe dasselbe ist, wie verhält sich der Halbmesser EC des Himmels zu der scheinbaren Höhe AD desselben?

Sey überhaupt der gegebene Winkel BDM $= \alpha$. Man ziehe MF senkrecht auf AC und überdiefs die Linien MC, BC und BA. Da nach der Aufgabe der Bogen AM $=$ MB

ist, so ist auch der Winkel $ACM = MCB = \varphi$, und da überdiess auch $DMF = \alpha$ ist, so hat man

$$\text{Tang.}\,\alpha = \frac{DF}{FM} = \frac{CF - CD}{FM} = \frac{\text{Cos.}\,\varphi - \text{Cos.}\,2\,\varphi}{\text{Sin.}\,\varphi}.$$

Ferner ist der Bogen $AB = 2\,\varphi$, also auch der Winkel

$$BAD = 90^\circ - \varphi$$

und daher auch

$$\frac{BD}{AD} = \text{Cotg.}\,\varphi.$$

Setzt man aber $\text{Cotg.}\,\varphi = x$, so ist

$$\text{Sin.}\,\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}},$$

$$\text{Cos.}\,\varphi = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$$

und

$$\text{Cos.}\,2\,\varphi = \frac{x^2-1}{x^2+1}.$$

Substituirt man diese Werthe von $\text{Sin.}\,\varphi$, $\text{Cos.}\,\varphi$ und $\text{Cos.}\,2\,\varphi$ in dem vorhergehenden Ausdrucke

$$\text{Tang.}\,\alpha = \frac{\text{Cos.}\,\varphi - \text{Cos.}\,2\,\varphi}{\text{Sin.}\,\varphi},$$

so erhält man

$$x^3 - \frac{(3+\text{Tang.}^2\,\alpha).x^2}{2\,\text{Tang.}\,\alpha} + x = \frac{\text{Tang.}^2\,\alpha - 1}{2\,\text{Tang.}\,\alpha}$$

und diese kubische Gleichung giebt den gesuchten Werth von

$$x = \frac{BD}{AD}.$$

Ist, wie in der oben angeführten Beobachtung, $\alpha = 23^\circ$, so ist $\text{Tang.}\,\alpha = 0{,}424475$, und daher die letzte Gleichung

$$x^3 - 3{,}74601\,x^2 + y + 0{,}96569 = 0,$$

woraus folgt $x = 3{,}36$, also auch $\varphi = 16^\circ\ 34'$, so dass also, dieser Beobachtung zufolge, der Himmel als ein gedrücktes sphärisches Gewölbe erscheint, dessen horizontaler Halbmesser nahe $3\frac{1}{3}$ der Höhe desselben beträgt.

Bei dieser kugelförmigen Erde haben bekanntlich unsere Antipoden, die uns gerade gegenüber am andern Ende desselben Erddurchmessers wohnen, Mitternacht, wenn wir Mittag

haben, und umgekehrt. Wenn man nun in Wien z. B. eben Sonntag Mittag zählt, so wird man bei den Antipoden dieser Stadt oder auf einem Schiffe, das eben durch den Ort dieser Antipoden fährt, um 12 Stunden mehr oder weniger, also entweder den Anfang des Montags oder den Anfang des Sonntags zählen, wenn man nämlich auch dort die Tage, wie wir in unserer bürgerlichen Zeitrechnung, mit der Mitternacht beginnt. Unsere Weltumsegler haben in der That *Beides* angetroffen; sie begegneten Inseln, die einen halben Tag mehr, und wieder, oft ganz in der Nähe von jenen, anderen Inseln, wo die Einwohner derselben einen halben Tag weniger zählten, als die Schiffsrechnung zeigte, die ihre Zählung noch aus Europa beibehalten hatte. Auf diese Weise begegneten sie Völkern, selbst civilisirten, aus Europa in frühern Zeiten eingewanderten Völkern, auf zwei nur wenig von einander entfernten Inseln, die *einen ganzen Tag* in ihrer Zeitrechnung von einander verschieden waren. Welche von beiden hatten Recht und wie sollten sie eigentlich zählen?

Diese Frage muſs unbestimmt bleiben. Wer gen Ost reist, bleibt bekanntlich mit seiner Zeit gegen die Ortszeit der Länder, die er auf seiner Reise trifft, immer mehr zurück, wer aber seinen Lauf gen West richtet, gewinnt in seiner Zeit in demselben Maſse, wie er weiter gen West vorrückt. Sind nun die gegenwärtigen Einwohner der einen jener beiden Inseln aus Europa gekommen, indem sie von West gen Ost steuerten, so zählen sie einen Tag weniger, als auf der andern, der ersten vielleicht ganz nahen Insel, nach welcher aber die jetzigen Bewohner aus Europa von Ost gen West gekommen sind.

Ueberhaupt, wenn ein Ort in der Nähe unserer Antipoden, z. B. von Wien aus, die östliche Länge A hat, so hat er offenbar auch die westliche Länge $24^h - A$. Nimmt nun der Bewohner dieses Orts seine Lage in Beziehung auf Wien als östlich an, so wird er zu der Zeit, wo man in Wien T Uhr zählt, die Zeit (T + A) Uhr haben. Betrachtet er aber die Lage seines Orts als westlich von Wien, so wird er, wenn es in Wien T Uhr ist, an seinem Orte $T-(24^h-A)=(T+A)-24^h$, also genau einen Tag weniger als zuvor, zählen. Da es aber einem Antipoden freistehn muſs, seine Richtung in Beziehung auf den Ort, dessen Antipode er ist, östlich oder westlich zu nennen, eben weil er keines von beiden ist, indem er vielmehr

jenem Orte im Durchmesser der Erde gerade gegenüber steht, so kann auch diese Frage nicht entschieden werden, und noch weniger wird man, wie ein englischer Seefahrer bereits versucht hat, die Entscheidung dieses Umstandes durch eine Parlamentsacte erzwingen wollen.

G. Beweise für die tägliche Bewegung der Erde um ihre Axe.

Ebenso wenig werden wir uns bei der Untersuchung aufhalten, ob die tägliche Bewegung des Himmels von Ost gen West um die ruhende Erde eine wahre Bewegung des Himmels oder nur ein Schein, eine optische Täuschung sey, die durch die tägliche Bewegung der Erde von West gen Ost um ihre Axe entsteht. In den bloſsen äuſseren Erscheinungen dieser Bewegung liegt nichts, was uns zur Annahme der einen oder der andern dieser beiden Hypothesen vorzugsweise bestimmen könnte, vielmehr hängt diese Wahl, so lange wir nämlich bloſs bei diesen äuſsern Erscheinungen stehen bleiben, von unserer Willkür ab; wie wir denn auch noch immer, obschon wir den zweiten der eben erwähnten Fälle als den einzig wahren erkennen, den älteren Sprachgebrauch von dem Auf- und Untergang, von der Culmination der Gestirne u. s. w. beibehalten, die sich doch auf die erste der beiden genannten Erklärungen, d. h. auf eine anerkannt falsche Voraussetzung beziehn. Die Beweise für die tägliche Bewegung der Erde um ihre Axe folgen bekanntlich aus der äuſsersten Unwahrscheinlichkeit, daſs so viele, so groſse und so sehr unter einander und von uns selbst entfernte Himmelskörper sich mit einer allen gemeinschaftlichen, gleichförmigen Geschwindigkeit um diesen, in Beziehung auf alle jene Körper, ganz unbedeutenden Punct, die Erde, bewegen sollen; aus der durch die Schwungkraft der Rotation entstehenden Abplattung der Erde an ihren beiden Polen; aus der Verschiedenheit der Pendellänge in verschiedenen Entfernungen von dem irdischen Aequator; aus unmittelbaren Fallversuchen der Körper von hohen Thürmen, und endlich aus der Beobachtung mehrerer, der Erde in mehr als einer Beziehung verwandten Gestirne, die durch die uns sichtbare Bewegung der Flecken auf ihrer Oberfläche eine ähnliche Rotation derselben um ihre eigenen Axen zeigen.

Die Einwendungen, die man gegen die tägliche Bewegung der Erde gemacht hat, verdienen jetzt keine weitere Widerlegung mehr.

H. Beweise für die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne.

Ganz ebenso wird man endlich auch mit der dritten der oben genannten Erklärungen, durch welche sich das Copernicanische System vor allen andern auszeichnet, verfahren können. Die Sonne scheint sich nämlich jährlich von West gen Ost am Himmel in einem Kreise zu bewegen, in dessen Mittelpuncte die Erde steht. Allein dieser Schein wird offenbar derselbe bleiben, wenn auch die Sonne in dem Mittelpuncte eines Kreises ruhen und dafür die Erde in der Peripherie dieses Kreises, in der Ekliptik, sich jährlich von West gen Ost bewegen sollte. Wenn wir nämlich jetzt die Sonne im Anfange des Frühlings in der Länge 0°, im Anfang des Sommers in der Länge 90° u. s. w. von der Erde aus sehn, so kann dieses auch daher kommen, weil man, von der ruhenden Sonne aus, die um sie sich bewegende Erde im Anfange des Frühlings in der Länge von 180°, im Anfange des Sommers in der Länge von 270° u. s. w., kurz immer um 180° weiter sehn würde, als wir von der Erde aus die Sonne sehn. Die Beweise für die in der That statt habende jährliche Bewegung der Erde um die Sonne folgen bekanntlich aus der unmittelbar daraus hervorgehenden sehr einfachen Erklärung der Stationen und Retrogradationen der Planeten; aus der damit verbundenen Vereinfachung der Darstellung aller übrigen, unter jeder andern Annahme äuſserst verwickelten Phänomene unseres Sonnensystems; aus der Analogie mit mehrern andern Himmelskörpern, die sich, wie wir sehn, ebenfalls um die Sonne bewegen; aus der im Vergleich mit der Erde an Masse über 300000, an Volumen aber über 1300000mal gröſsern Sonne und der auffallenden Unwahrscheinlichkeit, daſs ein so groſser Körper sich um einen so vielmal kleinern bewegen sollte; endlich ganz besonders aus der *Aberration des Lichts*[1], welche einen unmittelbaren und unwiderleglichen Beweis für die jährliche Be-

1 S. Art. *Abirrung des Lichts*. Bd. I. S. 15.

wegung der Erde an die Hand giebt, wenn es überhaupt noch nothwendig seyn sollte, eine bereits allgemein anerkannte Wahrheit noch durch fernere Gründe zu unterstützen. Wir wollen hier nur noch bemerken, daſs das dritte Gesetz Kepler's nicht weniger unmittelbar auf diese Bewegung der Erde führt. Wenn nämlich von den beiden Himmelskörpern, der Sonne und dem Monde, der eine derselben sich in der That um die Erde bewegt, wie denn dieses von dem Monde schon in den ältesten Zeiten angenommen werden muſste, so kann eben deshalb der andere, die Sonne, sich nicht mehr um die Erde bewegen. Denn die Umlaufszeit der Sonne ist nahe 13mal gröſser als die des Mondes, und die Distanz der Sonne ist über 400mal gröſser als die des Mondes von der Erde. Wenn aber die Sonne, so wie der Mond, sich um die Erde nach jenem Gesetze bewegte, so würde man, wenn x die Entfernung der Sonne von der Erde bezeichnet, die Proportion erhalten:

$$1^2 : 13^2 = 1^3 : x^3$$

oder

$$x = \sqrt[3]{169} = 5{,}53,$$

oder die Entfernung der Sonne würde, unter dieser Voraussetzung, nur $5\frac{1}{2}$mal gröſser seyn, als die des Mondes von der Erde, da sie doch, wie gesagt, über 400mal gröſser ist. Nach den neuesten Bestimmungen ist nämlich die Distanz der Sonne von der Erde gleich 20880000, die des Mondes von der Erde aber nur 51600 geogr. Meilen.

Ueber eine dritte, von Copernicus der Erde fälschlich beigelegte Bewegung.

Nebst der täglichen Rotation der Erde um ihre Axe und der jährlichen Bewegung derselben um die Sonne glaubte Copernicus der Erde noch eine dritte Bewegung geben zu müssen, um dadurch die Gesammtheit der äuſsern Phänomene erklären zu können. Indem er nämlich die regelmäſsige Abwechselung der Jahreszeiten auf der Erde in seinem Systeme aus einer schiefen und sich immer parallel bleibenden Stellung der Erdaxe gegen die Ebene der Ekliptik sehr richtig ableitete, war er der Meinung, daſs dieser Parallelismus der Erdaxe nur durch eine eigene, dritte Bewegung der Erde erhalten werden

könne. Er nannte sie eine *Declinationsbewegung*[1], die der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne entgegengesetzt wäre. Durch diese zwei gleichen und entgegengesetzten Bewegungen, sagt er, wird bezweckt, dafs die Erdaxe und der irdische Aequator immer dieselbe Lage am Himmel beibehalten. Allein dieser *Motus declinationis seu Parallelismi* ist eine blofse Fiction, die keinen Grund für sich hat. Die Mechanik war zur Zeit des Copernicus noch sehr unvollkommen oder eigentlich noch gar nicht vorhanden, sonst würde er gewufst haben, dafs bei der freien Bewegung der Körper die fortschreitende und die rotatorische Bewegung derselben von einander unabhängig sind, und dafs, bei Kugeln wenigstens, die Rotationsaxe durch die Kräfte, welche die progressive Bewegung ihres Mittelpuncts bewirken, nicht aus ihrer Lage gebracht wird, daher der Parallelismus dieser Axe vielmehr die Abwesenheit einer dritten Bewegung beweist, indem vielmehr noch eine eigene Bewegung erforderlich wäre, um diese Axe immerwährend aus dem mit ihrer ersten Lage parallelen Stande herauszubringen. Dieser Parallelismus der Erdaxe ist eben die natürliche Stellung dieser Axe, die sich nicht ändert, weil keine Ursache zu einer solchen Aenderung da ist. Es genügt, dafs sie anfänglich eine bestimmte Stellung im Weltraume erhalten habe, um dann auch diese Stellung für immer beizubehalten, trotz der Rotation der Erde um ihre Axe und der Revolution derselben um die Sonne[2]. Tycho, der wohl ein grofser Beobachter, aber kein mathematischer Kopf war, behielt diesen Irrthum des Copernicus um so lieber bei, weil er ihn als Waffe gegen seinen grofsen Vorgänger zu benutzen suchte, indem er eine so grofse und schwerfällige Masse, wie er die Erde darstellte, unmöglich mit drei verschiedenen Bewegungen begabt annehmen wollte, da ihm eine solche Voraussetzung gar zu absurd erschien.

---

1 De revolutionibus. Lib. I. Cap. 11.

2 S. Lalande Astron. trois. éd. §. 1100. Poisson Traité de Mécanique. 2me éd. T. II.

I. Historische Nachrichten von den Widerlegungen des Copernicanischen Systems.

Es kann nicht unsere Absicht seyn, die Gründe, welche die Zeitgenossen und die ersten Nachfolger des Copernicus gegen sein System aufgestellt haben, hier zu widerlegen oder auch nur alle genau anzuführen. Es wird genügen, die vorzüglichsten derselben nur kurz anzudeuten und uns dabei auf die zwei das gröfste Aufsehn machenden Gegner des Copernicus, auf Riccioli (geb. 1598 zu Ferrara, gest. 1671) und Tycho Brahe (geboren 1546, gest. 1601), zu beschränken. Beide bezogen sich vorzüglich auf einige Stellen des alten Testaments, die ihnen als die stärksten Beweisgründe galten, und die sie, so oft sie durch mathematische Gründe ins Gedränge kamen, als ihre beste und unbesiegbare Waffe zu Hülfe riefen. Diese Stellen sind: Josua Cap. X, Vers 13; Psalmen 92, Vers 1 und 103, Vers 5; Prediger Salomonis Cap. I, Vers 5; Jesaias Cap. XXXVIII, Vers 8; Buch der Richter Cap. V, Vers 20 und III. Buch Esra, Cap. IV, Vers 34. Es ist aber hier weder Zeit noch Ort, diese Stellen mit ihren Erläuterungen umständlich durchzugehn[1].

Riccioli[2], der in seinem Uebermuthe die Sache am weitesten zu treiben suchte, führt nicht weniger als *siebenundsiebenzig* Beweise gegen das Copericanische Weltsystem umständlich an und wiederlegt *neunundvierzig* andere Sätze ebenso weitläufig, von welchen er annimmt, dafs man sie etwa für

1 Was man damals über diesen Gegenstand sagte, findet man in folgenden Schriften zusammengetragen: Kepler in: de stella Martis, in Introd.; ders. in Myster. Cosmogr. in den Noten zu Cap. I; ders. in Epitome Astronomiae Copern. Lib. I; Rothmann in einem Briefe, der sich unter den Epistolis Tychonis p. 130 befindet; Foscarini in seinem Sendschreiben an seinen Carmelitergeneral. Neapel 1615 und Lyon 1641; Campanella in Apolog. pro Galileo. Frankf. 1622; Herigone in dem V. Theil seines Cursus Mathematicus; J. Lansberg in seiner Apologie für Philipp Lansberg gegen Morin, Middelburg 1633, und selbst Riccioli Almag. novum Vol. II. p. 487, so wie endlich auch Lalande in Astron. §. 1105.

2 Almagestum novum Astronomiam veterem novamque complectens cet. Bonon. 1651. II T. fol. Frankf. 1653. II T. fol. T. II. p. 409.

dieses System noch anführen könnte. Als ob es auf die Anzahl, nicht auf den Gehalt dieser Beweise ankäme, und als ob nicht schon ein einziger, aber unwiderleglicher Satz hinreichend gewesen wäre, die Wahrheit der einen oder die Falschheit der andern Sache hinlänglich zu beweisen! Besonders gefällt er sich bei der Behauptung, dafs die Vögel, wenn die Erde sich in der That bewegte, ihre Nester, ja selbst ihre Wälder nicht mehr finden könnten. Zur Widerlegung hätte man ihn blofs als Zuschauer rufen sollen, während man auf einem Schiffe Kegel oder Billard spielte[1]. Tycho, der jene zwei Beweisarten des Riccioli auch auszubeuten sucht, bringt überdiefs noch mehrere andere vor, die er aber, wir wollen es zu seiner Ehre glauben, nicht vorgebracht haben würde, wenn er die Beobachtungen seiner Nachfolger gekannt hätte. Er sträubte sich aus allen seinen Kräften dagegen, dafs eine so schwere, unbehülfliche Masse, wie die Erde, sich so schnell um die Sonne bewegen soll, und doch liefs er selbst nach seinem eigenen Systeme die noch viel unbehülflichere Sonne um die Erde sich bewegen. Er kann es nicht zugeben, dafs wir alle zwölf Stunden den Kopf unten und die Füfse oben haben sollen, allein unsere Reise um die Welt würde ihm gezeigt haben, dafs wir Antipoden haben, dafs daher sein Einwurf nicht bestehn kann, und dafs derselbe nur auf einem Vorurtheile oder auf einer unrichtigen Ansicht beruht, die er daher berichtigen sollte. Am meisten empörte ihn die grofse Distanz der Fixsterne von der Sonne oder von der Erde, die Copernicus angenommen hatte, um daraus zu erklären, warum wir keine Parallaxe, d. h. keine Veränderung dieser Sterne in ihrer gegenseitigen Stellung bemerken, während doch unsere Erde jährlich einen Kreis beschreibt, dessen Durchmesser über 40 Millionen geogr. Meilen beträgt. Copernicus selbst fand sich ohne Zweifel durch den Mangel dieser Parallaxe auch eine Zeit lang in dem Verfolge seiner Ideen aufgehalten. Aber vor seinem Geiste stand die Einfachheit und die schöne Harmonie seines Systems so rein und klar da, dafs er keinen Anstand nahm, die Entfernung der Fixsterne so grofs anzunehmen, damit sie mit seinem Systeme nicht weiter im Widerspruch stehn könne. Die Wahrheit des Systems war ihm, nicht etwa aus Speculationen *a priori*, son-

1 Vergl. Lalande Astronom. T. I. p. 403.

dern aus tausend wiederholten Erfahrungen und Beobachtungen vollkommen bewiesen. Ueber die Entfernung der Fixsterne aber wuſste man noch gar nichts; warum sollte er sie also nicht so weit als möglich annehmen, um nicht etwa sein System, das von allen andern Seiten bereits auf das beste bewiesen war, mit dieser Entfernung, sondern vielmehr um diese Entfernung mit seinem System in Einklang zu bringen. Zahllose Beobachtungen seiner Nachfolger haben gezeigt, daſs Copernicus auch hier sehr gut gerathen hat, und daſs ein Mann seiner Art, wenn er einmal des wahren Wegs gewiſs ist, ihn nicht so schnell verläſst, wenn er da und dort auf ihm Hindernissen begegnet, die vielleicht nur scheinbar sind. Dieser unendliche Abstand der Fixsterne, gegen welchen selbst der Durchmesser der Erdbahn nur als ein ganz unmerklicher Punct verschwindet, ist ein sehr wesentlicher Theil der Copernicanischen Weltordnung. Was soll uns aber hindern, diesen Abstand in der That so groſs anzunehmen, wie es allen unsern Beobachtungen gemäſs ist? Sind *Groſs* und *Klein* nicht bloſse relative Begriffe, und kann uns nicht dasjenige sehr groſs erscheinen, was anderen Wesen nur sehr klein vorkommen mag? Oder hindert uns nur die Neuheit des Einfalls, ihn auch als wahr anzunehmen? Allein denselben Einfall hat schon Aristarch von Samos (300 Jahre vor Chr. Geb.) gehabt, und er ist demnach wenigstens alt genug, um nicht mehr durch seine Neuheit aufzufallen. Als man ihm, der ebenfalls die Erde jährlich in einem Kreise um die Sonne gehn lieſs, denselben Einwurf von der Parallaxe der Fixsterne machte, entgegnete er, daſs sich der Abstand der Fixsterne zur Erdbahn verhalte, wie der Halbmesser einer Kugel zu ihrem Mittelpuncte, d. h. daſs der Durchmesser der ganzen Erdbahn gegen den Abstand der Fixsterne von uns nur als ein Punct oder als eine unendlich kleine Gröſse zu betrachten sey[1]. Dieselbe Beweisführung trägt auch Copernicus[2] vor. Ohne diese Voraussetzung einer so groſsen Distanz der Fixsterne würde auch die Erdaxe, ihres oben erwähnten Parallelismus ungeachtet, nicht

1 S. Archimedis Arenarius in den Werken des Joh. Wallis Vol. III. p. 514 oder auch die Werke des Archimedes von Barrow. Lond. 1675. p. 277.

2 De Revolutionibus cet. Cap. VI.

immer dieselbe Stelle am Himmel treffen, wie sie jetzt thut, wenn man nämlich die Präcession und Nutation unberücksichtigt läſst, sondern diese zu beiden Seiten bis an den Himmel verlängerte Axe würde am Himmel einen kleinen Kreis beschreiben, welchen man an den Stellungen des Pols gegen die Fixsterne bald erkennen müſste. Horrebow und in den neuern Zeiten Calandrelli, Piazzi und Herschel d. ält. glaubten zwar durch ihre Beobachtungen einen solchen kleinen Kreis in der That bemerkt, oder mit andern Worten, sie glaubten die Parallaxe der Fixsterne beobachtet zu haben, allein es zeigte sich bald, daſs sie sich geirrt hatten, und daſs auch unsere besten Instrumente nicht im Stande sind, diese für uns bisher noch viel zu kleine Parallaxe oder diese für uns viel zu groſse Distanz der Fixsterne in der That auch nur mit einiger Verläſslichkeit zu messen. Doch hat das immer wiederholte Aufsuchen der Parallaxe, die dann allerdings einen sehr schönen Beweis der jährlichen Bewegung der Erde, wenn wir desselben noch bedürften, gegeben hätte, den Astronomen Gelegenheit gegeben, eine andere, noch interessantere Entdekkung, die der Aberration des Lichtes, zu machen, aus welcher dann auch jener Beweis gleichsam von selbst gefolgt ist.

Ferner glaubte Tycho, in der Schwungkraft, die durch die Rotation der Erde um ihre Axe entstehe, einen triftigen Beweis gegen diese Rotation selbst zu finden. Er fand nämlich diese Schwungkraft so groſs, daſs durch sie alle Körper auf der Oberfläche der Erde zerstreut und von ihr weggeführt werden müſsten. Allein wenn er besser gerechnet hätte, so würde er gefunden haben, daſs durch diese Schwungkraft die Schwere der Erde selbst unter dem Aequator, wo doch die Schwungkraft am gröſsten ist, nur um ihren $\frac{1}{290}$sten Theil vermindert wird.

Endlich behauptete er noch, daſs die Kometen, wenn sie in Opposition mit der Sonne sind, keine solchen Erscheinungen (des Rückgangs u. dgl.), wie die obern Planeten zeigen, wenn diese auch der Sonne gegenüberstehn, und daſs sie doch solche Erscheinungen zeigen müſsten, wenn die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne, die Copernicus aufgestellt hatte, in der That statt fände. *Cometas insuper coelitus conspectos et in solis opposito versantes motui terrae non reddi*

obnoxios, quamvis non in tantum distent, ut plane is evanescat, sicut in fixis fit sideribus: Copernicanam proinde assumptionem in motu terrae quoque collabescere. Dieser Einwurf würde wichtig seyn, wenn er zugleich wahr wäre. Aber Tycho hatte selbst nur wenig Kometen beobachtet und sprach hier von Dingen, die er nicht genau kannte. Hätte er nur den von 1681 sehn können, dessen scheinbare Bahn so verwickelt und bizarr war, dafs Cassini sie sogar durch zwei verschiedene Kometen, die man mit einander vermengt habe, erklären wollte, so würde er wohl seine Meinung geändert haben, besonders wenn er bemerkt hätte, dafs dieselbe äufserst complicirte Bahn durch die blofse Annahme der jährlichen Bewegung der Erde eine sehr einfache krumme Linie geworden ist, und dieselben Kometen, die für ihn ein Mittel abgeben sollten, das Copernicanische System zu bekämpfen, würden ihm einer der triftigsten Gründe mehr gewesen seyn, diesem Systeme beizupflichten und ihm sein eigenes, so wohlgefällig auch seine Eitelkeit auf dasselbe herabgesehn haben mag, willig zum Opfer zu bringen.

K. Bildliche Darstellungen des Copernicanischen Systems.

Man hat dieses System und die gegenseitige Lage seiner Körper durch *Scheiben* darzustellen gesucht, die sich alle um einen gemeinschaftlichen Mittelpunct, die Sonne, drehn. Peter Apian (Bienewitz)[1] hat eine Vorrichtung dieser Art auf 59 Platten gegeben, aber dabei die Ptolemäische Hypothese beibehalten. Lothar Zumbach (Koesfeld)[2] lieferte solche Scheiben in Kupferstichen für das Copernicanische System. In den neuern Zeiten hat man eine Menge Versuche dieser Art von Darstellungen gemacht, die man sich aber auch wohl leicht selbst verfertigen kann.

Künstlicher und kostbarer zugleich sind die sogenannten *Planetarien* (franz. *Planétaires*, engl. *Orreries*), welche die Bewegungen der Planeten durch Räderwerk vorstellen. Selbst

1 Astronomicum caesareum. Ingolst. 1540. fol.
2 Dessen Planetolabium. Lugd. Bat. 1691.

Huyghens[1] fand es nicht unangemessen, sich mit der Verfertigung einer solchen Maschine zu beschäftigen. Auch Ferguson[2] hat eine andere solche Planetenmaschine beschrieben. In Frankreich haben sich Fortin, Grenet, Flecheux und in Deutschland Vischer, Hahn, Riedel und früher besonders die Nürnberger Künstler in der Verfertigung solcher Charten und Maschinen ausgezeichnet. Die meisten der letzten stellen den erhabenen Gegenstand, den sie repräsentiren wollen, nur höchst unvollkommen dar, und wessen Imagination nicht so viel Spannkraft hat, um die Einrichtungen und die aus diesen Einrichtungen folgenden Erscheinungen des Planetensystems sich ohne solche Hülfsmittel zu erklären, dem wird auch wohl mit den besten und theuersten Planetarien nur sehr wenig geholfen seyn. Aus diesen Gründen wahrscheinlich hat Lichtenberg alle diese Maschinen in die Kategorie der künstlichen, aber nutzlosen Bratenwender geworfen.

L. Kepler's Weltsystem.

Gewöhnlich begnügt man sich, wenn von dem Weltsysteme die Rede ist, mit der Aufzählung des ägyptischen, Ptolemäischen, Tychonischen und des Copernicanischen Systems, mit welchem letzteren man die Reihe für geschlossen hält. Allein Copernicus hatte uns nur die Anordnung, die Aufeinanderfolge der Planeten und ihre gemeinschaftliche Bewegung um die Sonne, so wie die jährliche und tägliche Bewegung der Erde, die er dadurch in die Zahl der übrigen Planeten aufnahm, gelehrt, und so groſs dieses Verdienst einer solchen Lehre auch gewesen ist, da sie einer jeden wahren Erkenntniſs der Erscheinungen jener Himmelskörper nothwendig vorausgehn muſste, so blieben doch noch gar viele Fragen unbeantwortet, die sich nicht etwa auf minder wichtige Kleinigkeiten und Nebensachen, sondern unmittelbar auf die ganze Organisation des neuen Systems im Groſsen bezogen. Copernicus hatte uns durch die tägliche Rotation der Erde um ihre Axe eine genügende Erklärung der scheinbaren täglichen Umwälzung des Himmels und durch die jährliche Be-

1 Descriptio automati planetarii. In Opp. rel. Amst. 1728. T. II.
2 Astronomy explained. Lond. 1754.

wegung der Erde um die Sonne eine ebenso vollkommene Auflösung der auffallendsten Bewegungen der Planeten, ihrer Stationen und Retrogradationen, gegeben, oder er hat uns den wahren Grund der sogenannten *zweiten Ungleichheit* der Planeten kennen gelehrt. Allein die *erste Ungleichheit* oder die ungleichförmige Bewegung der Planeten in ihren Bahnen liefs er ganz unerklärt, und er mufste sie auch unerklärt lassen, so lange er die *Kreisbewegung*, welche die Alten den Planeten vorzugsweise gegeben hatten, nicht ebenso kühn verwarf, als er die von denselben Alten angenommene Ruhe der Erde im Mittelpuncte des Systems verworfen hatte. Allein an diese Kreise wagte er nicht zu rühren, und so mufste er denn auf halbem Wege stehn bleiben. Die alten Griechen, die mehr Philosophen als Astronomen waren, und denen es mehr um Hypothesen, durch welche sie ihren Scharfsinn zeigen konnten, als um die wahre Erkenntnifs der Natur auf dem praktischen Wege der Beobachtungen zu thun war, nahmen die sämmtlichen Bahnen der Himmelskörper als *kreisförmig* an, nicht weil diese Kreise ihren Beobachtungen, um welche sich ihre Theoretiker wenig kümmerten, am besten entsprachen, sondern aus dem hyperphysischen Grunde, weil der Kreis, unter allen krummen Linien die einfachste, die vollkommenste und daher dem Urheber der Natur die angemessenste Linie seyn sollte. Da und dort regte sich freilich in den bessern Köpfen der Verdacht, dafs diese Annahme doch wohl nicht die rechte seyn könne, weil sie mehrere Erscheinungen (der ersten Ungleichheit nämlich) selbst bei den Bewegungen der Sonne und des Mondes, die sie doch am besten kannten, durch ihre Kreise nicht darstellen konnten. Diese Erscheinungen deuteten offenbar auf eine ihrer Natur nach *ungleichförmige Geschwindigkeit* dieser Himmelskörper, und da sie eine solche, als der Bewegung im Kreise, die nur gleichförmig seyn kann, widersprechend, nicht annehmen konnten, ohne ihr erwähntes metaphysisches Princip fahren zu lassen, so kamen sie auf den wunderlichen Einfall, mehrere Kreise über einander laufen zu lassen, und durch ein künstliches Gerüste von Epicykeln die Lücke auszufüllen, die sie in ihrem Systeme bemerkten. Wir haben bereits oben (Abschnitt C.) bemerkt, dafs sie sich durch die grofsen Veränderungen, die der scheinbare Halbmesser des Mondes zeigt, von der Unrichtigkeit und Falschheit ihrer Hy-

pothese hätten überzeugen können. Allein die einmal vorgefaſste Idee von der Vortrefflichkeit des Kreises war zu tief in allen Köpfen gewurzelt und fand einen zu allgemeinen Eingang, als daſs man es hätte wagen dürfen, ihr auch nur zweifelnd entgegen zu treten. Bis in die Mitte des 17ten Jahrhunderts blieb sie die herrschende Idee nicht bloſs des groſsen Haufens oder der mit der Sternkunde gewöhnlich nur wenig bekannten Philosophen, sondern auch der eigentlichen Astronomen. Selbst Copernicus, dem es doch, wie wir gesehn haben, nicht an Muth und Kraft gefehlt hat, alten und noch so tiefgewurzelten Vorurtheilen entgegenzutreten, selbst dieser groſse und seltene Mann, der sein ganzes, langes Leben darauf verwandt hatte, eines der ältesten und hartnäckigsten dieser Vorurtheile zu bekämpfen, selbst er konnte sich von jener Idee nicht trennen, welche so viele verflossene Jahrhunderte gleichsam geheiligt hatten, und so groſs auch seine Verdienste um die Wissenschaft waren, so beschränkten sie sich doch nur darauf, die Kreise der Alten anders zu vertheilen, ohne aber diese Kreise selbst, an die er ebenso fest, wie alle seine Vorgänger, glaubte, weiter zu berühren.

Dieser wichtige Schritt zur Erkenntniſs der Wahrheit war dem nahe hundert Jahre nach Copernicus kommenden Kepler vorbehalten. Johann Kepler wurde zu Wiel in Würtemberg am 27. Dec. 1571 von armen Aeltern geboren. Seine Kindheit und Jugend brachte er in Dürftigkeit zu, vielleicht um sich zu dem Kampfe vorzubereiten, den er sein ganzes Leben hindurch mit dem ungünstigsten Schicksale zu bestehn hatte. Gegen sein zwanzigstes Jahr verschaffte er sich in Tübingen, wo er Theologie studirte, seinen Unterhalt durch Erziehung fremder Kinder. Zwei Jahre später wurde er Professor der Mathematik zu Grätz in Steiermark, wo er auch im J. 1596 sein erstes gröſseres Werk, *Mysterium cosmographicum*, herausgab. Durch diese Schrift wurde er dem Tycho Brahe in Prag bekannt und auf dessen Ansuchen vom Kaiser Rudolph II. als Tycho's Gehülfe im J. 1600 nach Prag geschickt. Da man ihm aber hier, während der Unruhen des 30jährigen Kriegs, seine kleine Besoldung nicht auszahlte, so begab er sich nach eilf in Dürftigkeit zu Prag verlebten Jahren wieder als Professor der Mathematik nach Linz, wo er neue funfzehn Jahre mit Entbehrungen und mit religiösen Verfolgungen kämpfte. Dieser Ver-

hältnisse müde, nahm er die Vorschläge eines Privatmanns an, von dem er nach Ulm berufen wurde. Da man aber auch hier die eingegangenen Bedingungen, indem es Jedermann an Geld fehlte, nicht erfüllte, so begab er sich in die Dienste des berühmten Wallenstein, Herzogs von Friedland, der in ihm nicht sowohl einen Astronomen, als vielmehr einen Astrologen, einen zweiten Seni erwartete. Um ihn wieder los zu werden, wurde er bald darauf als Professor nach der Universität Rostock geschickt, über welche Wallenstein das Patronat hatte. Aber auch hier wurde ihm seine Besoldung zurückgehalten, und um seine von Prag und Rostock noch rückständigen Zahlungen zu erbetteln, reiste er im J. 1631 ganz allein und zu Fuſse zu dem ausgeschriebenen Reichstage in Regensburg, wo er, erschöpft von den Anstrengungen der Reise, von Kummer und Entbehrungen aller Art, erkrankte und am 15. Nov. desselben Jahres starb [1].

Um in Kürze den Weg zu zeigen, auf welchem Kepler zu seinen berühmten Entdeckungen gelangt ist, die jetzt allgemein unter der Benennung der *drei Kepler'schen Gesetze* bekannt sind, wollen wir zuerst bemerken, daſs er durch einen sehr glücklichen Zufall in demselben Jahre (1600) nach Prag kam, in welchem Tycho die Reduction der 20jährigen Oppositionen des Planeten *Mars* vollendet hatte, die seit d. J. 1580 in Verbindung mit Longomontanus von ihm beobachtet worden waren. Diese Beobachtungen waren erstens mit besseren Instrumenten und mit gröſserer Sorgfalt und Geschicklichkeit angestellt, als vielleicht je eine frühere; sie waren zweitens an einem Planeten angestellt, der in seiner Opposition unter allen oberen Planeten der Erde am nächsten kommt, und dessen geocentrische Bewegung daher sehr groſs und leicht mit Genauigkeit auf-

1 Eine interessante und lehrreiche Biographie von ihm ist: Johann Kepler's Leben und Wirken, nach neuerlich aufgefundenen Manuscripten von J. L. C. Freih. v. Breitschwert. Stuttg. 1831. 8. Seine vorzüglichsten Werke sind nebst dem bereits genannten *Myst. cosmographicum*, Tübing. 1596 und 1621, seine *Paralipomena ad Vitellionem*. Frankf. 1604; *De Stella in pede Serpentarii*. Pragae 1606; *Astronomia nova de stella Martis*. Pragae 1609; *Dioptrica*, Augustae Vindel. 1611 und London 1653; *Epitome Astronomiae Copernicanae*, 1618, 1621, 1622; *Harmonices Mundi* libri quinque, Lincii 1619; *De Cometis*, Augustae Vindel. 1619 und *Tabulae Rudolphinae*. Ulmae 1627.

zufassen ist, und sie betrafen endlich drittens einen Planeten, dessen Bahn wieder unter allen obern Planeten bei weitem die gröfste Excentricität hat und bei welchem man daher jede Abweichung seiner wahren elliptischen Bewegung von der bis dahin supponirten Kreisbewegung am ersten entdecken konnte; alles sehr günstige Umstände, welche den neuen Entdeckungen gleichsam den Weg bahnen mufsten. Schon Tycho hatte sich, noch vor Kepler's Ankunft, bemüht, diese Beobachtungen des Mars durch irgend eine hypothetische Bahn desselben darzustellen, und er hatte auch eine solche Hypothese gefunden, mit welcher wenigstens er selbst ganz zufrieden war, obschon sie die von ihm beobachteten Oppositionen nur bis auf fünf Minuten genau darstellte, ein Fehler, den er der Unvollkommenheit seiner Beobachtungen zuzuschreiben sich geneigt zeigte, um nur seiner Hypothese nicht zu nahe zu treten.

Schon die Alten hatten nämlich angenommen, dafs z. B.
Fig. 174. die Sonne M sich in einem Kreise bewege, dessen Mittelpunct C ist, während die Erde nicht in diesem Mittelpuncte, sondern in einem andern Puncte A′ der Linie ruht, welche die Apsiden P und Q mit diesem Mittelpuncte verbindet. Dieses war nun der sogenannte *excentrische Kreis*, von dem wir bereits oben (Abschnitt C) gesprochen haben. Es ist leicht zu sehn, dafs diese Hypothese des excentrischen Kreises ganz identisch mit der eines Epicykels ist, dessen Mittelpunct sich auf dem Kreise QMP bewegt und dessen Halbmesser gleich der Entfernung CA′ der Erde A′ von dem Mittelpuncte C jenes Kreises ist, so dafs beide Hypothesen ganz auf dieselben analytischen Ausdrücke für den geocentrischen Ort der Sonne führen. Da aber die Alten bald bemerkten, dafs diese Voraussetzung die Beobachtungen der Sonne nicht eben sehr genau darstellte, so brachten sie eine sogenannte Verbesserung daran an, indem sie nämlich noch die Bedingung hinzusetzten, dafs die Sonne in der Peripherie des Kreises QMP nicht gleichförmig, wie bisher, sondern so einhergehn sollte, dafs sie um einen andern Punct A (der ebenso weit wie A′ von C, aber auf der andern Seite von C entfernt ist) in gleichen Zeiten gleiche Winkel QAM beschreibe. Sie nahmen also von dem Mittelpuncte C aus auf der Apsidenlinie PQ zwei Puncte A′ und A in gleicher Distanz von C, und nahmen an, dafs in dem einen dieser Puncte A′ die Erde stehe, während die Sonne in der

Peripherie QMP des Kreises eine (nicht, wie bisher, um C, sondern) um den andern Punct A gleichförmige Winkelbewegung haben soll. Diese Hypothese nahm nun Tycho wieder auf, aber nicht ohne auch sie noch mit einer weiteren Verbesserung, wie er dachte, von seiner Erfindung zu versehn. Er nahm nämlich die zwei Puncte A und A' in *ungleichen* Entfernungen von dem Mittelpuncte C an, und liefs dann um den einen A' den Mars in seinem Kreise QMP sich gleichförmig bewegen, während er in den andern Punct A', seinem oben erwähnten Weltsysteme zufolge, die ruhende Erde setzte.

Dafs Kepler mit dieser Anordnung nicht sehr zufrieden seyn konnte, darf nicht erst erinnert werden, da er dem Copernicanischen, nicht dem Tychonischen Weltsysteme anhing. Davon jedoch konnte er sich bald unabhängig machen, da er nur, statt der Erde, die Sonne in den Punct A' versetzen durfte. Allein die Fehler von fünf Minuten, die sich in der neuen Hypothese Tycho's, wie man auch dieselbe drehn und wenden wollte, nicht wegbringen liefsen, diese waren ihm ein Stein des Anstofses, den er um jeden Preis zu entfernen suchte. Dieses Suchen dauerte aber volle neun Jahre, an deren Ausgange endlich sein berühmtes Werk erschien, in welchem er, was er über diesen Gegenstand gefunden hatte, der Mit- und Nachwelt mittheilte. Dieses Werk führt den Titel: Astronomia nova *αἰτιολόγητος*, seu Physica coelestis, tradita commentariis de motibus stellae Martis, ex Observationibus G. V. Tychonis-Brahe. Pragae 1609. fol.

Er bemerkte sehr bald, dafs er vor allen Dingen die Theorie der Sonne so weit ins Reine bringen mufste, um für jede gegebene Zeit die wahren Distanzen derselben von der Erde durch Rechnung zu erhalten. Er suchte demnach zuerst die wahre Distanz CA' der Sonne A' von dem Mittelpuncte C des Kreises, in welchem die Erde, in Beziehung auf diesen Mittelpunct, gleichförmig einhergehn sollte. Man sieht, dafs er sich von den sogenannten Verbesserungen nicht irre führen liefs, nach welchen seine Vorgänger einen andern Punct A als den eigentlichen Mittelpunct der gleichförmigen Winkelbewegung angenommen hatten, und dafs er in einem richtigen Vorgefühl die ursprüngliche einfache Idee allen andern vorzog. Glücklicher Weise ist die Excentricität der Erdbahn so gering,

dafs er durch diese alte Hypothese eines einfachen excentrischen Kreises die gesuchten Distanzen der Sonne von der Erde mit der zu seinen Untersuchungen nothwendigen Genauigkeit darstellen konnte. Er fand diese Distanz CA′ der Sonne A′ von dem Mittelpuncte C der Erdbahn gleich 1792, den Halbmesser CP = CQ = 100000 gesetzt, oder, was dasselbe ist, er fand das Verhältnifs dieser Excentricität CA′ zum Halbmesser der Erdbahn gleich 0,01792 (also schon der Wahrheit sehr nahe, da sie, den neuesten Bestimmungen zufolge, für das Jahr 1600 gleich 0,01689, also nur um 0,001 kleiner seyn sollte). Seine Rechnungen zeigten ihm bald, dafs diese Voraussetzung die Distanzen der Sonne den Beobachtungen gemäfs gab, und so begnügte er sich also für die Theorie der Sonne mit dieser Kreishypothese, und ging nun zur Aufsuchung der wahren Theorie der Planeten über.

Natürlich mufste er zuerst voraussetzen, dafs dieselbe Hypothese, die ihm die Bewegung der Sonne, oder vielmehr der Erde, bereits so befriedigend dargestellt hatte, auch wohl für die Planeten ebenso gute Resultate liefern werde, und das war es auch, was er zuerst versuchte. Auch hier war es wieder ein sehr günstiges Ereignifs, dafs Tycho ihm nicht nur überhaupt gute Beobachtungen des Mars, sondern dafs er ihm so gute *Oppositionsbeobachtungen* von diesem Planeten geliefert hatte. Die Beobachtungen der Opposition[1] haben nämlich den grofsen Vortheil, dafs sie unmittelbar den heliocentrischen Ort des Planeten geben, da man zur Zeit der Opposition den Planeten, in Beziehung auf seine Länge, an demselben Orte des Himmels von der Erde, wie von der Sonne erblickt, während man für alle andere Zeiten den von der Erde beobachteten oder geocentrischen Ort erst durch Rechnung auf den heliocentrischen Ort, der bei solchen Untersuchungen allein brauchbar ist, reduciren mufs, eine Reduction, die für Kepler, der die Elemente der Planetenbahnen erst suchen sollte, mit unübersteiglichen Schwierigkeiten verbunden gewesen wäre.

Allein nicht blofs diese glücklichen Zufälle, von denen wir schon öfter gesprochen haben, erleichterten die Bahn, die der seltene Mann zu gehn hatte, um sein hohes Ziel zu erreichen, sondern auch seinem eigenen Geiste mufs ein grofser, wo

---

1 Vergl. Art. *Aspecten*. Bd. I. S. 401.

nicht der gröfste Theil des Gelingens dieser Unternehmung zugeschrieben werden, seiner Geschicklichkeit, die Schwierigkeiten zu besiegen, die besiegt werden konnten, und diejenigen zu umgehn, die er nicht überwinden konnte, seinem Scharfsinn, verwickelte Fragen zu theilen und sie gleichsam partieenweise und unabhängig von den andern Theilen aufzulösen, seiner Kunst, für jede seiner Untersuchungen die angemessensten Beobachtungen und die sichersten Methoden der Berechnung auszuwählen, und vor allem vielleicht seiner unermüdlichen Beharrlichkeit, das einmal ins Auge gefafste Ziel unverwandt zu verfolgen und nicht eher abzulassen, bis dasselbe vollständig erreicht war. Auf diese Weise bestätigt auch er den schon so oft erprobten Satz der Menschengeschichte, dafs zwar alles Grofse, was durch den menschlichen Geist geschehn soll, vom Glücke begünstigt seyn, dafs aber auch derselbe Geist es verstehn mufs, dieses Glück, wo es sich ihm darbietet, zu seinem Zwecke zu benutzen, und so darf auch auf ihn, wie auf alle aufserordentlichen, vom Glücke vorzüglich begünstigten Männer, mit vollem Rechte angewendet werden, was der alte griechische Dichter von einem seiner Zeitgenossen sagte:

Οὐ τύχης, οὐκ ἀρετῆς, ἀλλ' ἀρετῆς εὐτυχομένης.

Uebrigens wird der Leser, dem es um die nähere Kenntnifs der Art, wie Kepler zu seinen grofsen Entdeckungen kam, zu thun ist, sein oben erwähntes Werk selbst lesen müssen, da es den Keim und die Basis der ganzen neuern Astronomie enthält und da es, der Weitläufigkeiten, Ausschweifungen und immer wiederholten Versuche ungeachtet, auf jeden seiner Seiten von dem hellen und heitern Geiste des Verfassers Zeugnifs giebt.

Er versuchte also zuerst dieselbe Hypothese des excentrischen Kreises, die ihm für die Sonne schon so gute Dienste geleistet hatte, auch auf die Planeten anzuwenden. Allein gleich der erste Versuch zeigte ihm, dafs seine Hoffnung wahrscheinlich ungegründet sey. Die Rechnungen dieses ersten Versuches, die er in seinem Werke mittheilt, füllen volle zehn Folioseiten desselben. Allein dadurch nicht abgeschreckt berechnete er, wie er S. 95 erzählt, noch *siebenzig* solcher Beispiele, bis er endlich zu der vollen Ueberzeugung gelangte, dafs

er auf falschem Wege sey, und dafs er also eine ganz andere Bahn einschlagen müsse. Er mufste nämlich eine Methode suchen, die wahren Entfernungen des Mars von der Sonne, unabhängig von aller vorläufigen Hypothese über die Form seiner Bahn, durch Rechnung zu bestimmen. Zu diesem Zwecke verfuhr er im Allgemeinen ganz so, wie unsere Feldmesser, wenn sie die Entfernung eines irdischen Gegenstandes, zu dem sie selbst nicht unmittelbar gelangen können, durch Rechnung bestimmen wollen.

Fig. 175. Nehmen wir an, man habe den Planeten M zweimal an demselben Orte des Himmels beobachtet, wo die Erde während der ersten Beobachtung in T und während der zweiten Beobachtung in T' war und wo die Sonne in dem Mittelpuncte S des von der Erde beschriebenen Kreises TT' ruht. Die unmittelbaren Beobachtungen gaben die Differenz der geocentrischen Länge des Planeten und der Sonne oder die sogenannte *Elongation*[1] STM in der ersten und ST'M in der zweiten Beobachtung. Aus der bereits bekannten Theorie der Sonne, im excentrischen Kreise, kannte Kepler aber auch die Differenz der beiden Sonnen- oder Erdlängen in den beiden Beobachtungen oder den Winkel der Commutation TST' an der Sonne, so wie die beiden Distanzen ST und ST' der Sonne von der Erde. Demnach kannte er in dem Dreiecke TST' zwei Seiten ST und ST' nebst ihrem eingeschlossenen Winkel TST', woraus er dann, durch die bekannten Formeln der ebenen Trigonometrie, auch die dritte Seite TT' und die beiden übrigen Winkel a und a' dieses Dreiecks finden konnte. Zieht man dann diese Winkel a und a' von den beiden Elongationen STM und ST'M ab, so erhält man die Winkel b und b', so dafs demnach in dem zweiten Dreiecke TMT' die Seite TT' und die beiden anliegenden Winkel b und b' bekannt sind, woraus dann wieder die Seite TM sowohl, als auch T'M durch Rechnung bestimmt werden kann. Auf diese Weise sind daher bereits die zwei Distanzen TM und T'M des Planeten von der Erde gefunden worden. Endlich kennt man in dem dritten Dreiecke STM die zwei Seiten ST und TM nebst dem von ihnen eingeschlossenen Winkel STM, also auch durch Rechnung die gesuchte Seite SM oder die Entfernung des

1 Vergl. Art. *Elongation*. Bd. III. S. 788.

Planeten von der Sonne. Zur Prüfung des ganzen Verfahrens kann man auch noch in dem vierten Dreiecke S T'M aus den zwei bekannten Seiten S T' und T'M und ihrem eingeschlossenen Winkel S T'M dieselbe Seite SM finden, deren Werth mit den bereits zuvor gefundenen genau übereinstimmen mufs.

Dieses einfache Verfahren wendete Kepler an, seine Aufgabe aufzulösen. Auch hierin hatte ihm Tycho glücklicherweise durch seine frühern Beobachtungen vorgearbeitet. Zwar fand er unter denselben keine solchen Paare, in welchen der Planet genau in demselben Puncte seiner Bahn beobachtet worden wäre, aber er fand doch mehrere, wo dieses beinahe der Fall war, und die Bewegung des Mars war ihm bereits so nahe bekannt, dafs er die Reduction der einen dieser Beobachtungen auf die andere, da sie in Beziehung auf den Ort des Planeten nur wenig verschieden waren, leicht mit der hier nöthigen Genauigkeit vornehmen konnte. Indem er nun auf diese Weise sich die Kenntnifs der wahren Entfernungen des Mars von der Sonne für verschiedene Puncte seiner Bahn verschafft hatte, verglich er sie unter einander, um daraus, wo möglich, die eigentliche Gestalt dieser Bahn zu entdecken. Er suchte sie natürlich wieder zuerst seiner frühern, beliebten Hypothese des excentrischen Kreises anzupassen. Sey B N D dieser Kreis und C der Mittelpunct, so wie A der Punct der Sonne in der Richtung der Apsidenlinie B C D. Aus frühern Versuchen hatte er bereits den Halbmesser CB = C D dieses excentrischen Kreises gleich 152640 und die Excentricität desselben C A = 14140 gefunden, den Halbmesser der Erdbahn als Einheit vorausgesetzt. Dieses gab das Verhältnifs der Excentricität zum Halbmesser Fig. 176.

$$\frac{AC}{CB} = \frac{14140}{152640} = 0{,}0926$$

immer noch genau genug, da nach den neuesten Bestimmungen die Excentricität der Marsbahn gleich 0,0932 ist, die halbe grofse Axe dieser Bahn als Einheit angenommen.

Indem er nun die früher erhaltenen Marsdistanzen von der Sonne in seinen excentrischen Kreis B M N D eintrug, fand er das auffallende Resultat, dafs seine wahren Distanzen immer kürzer waren, als in dem excentrischen Kreise, und zwar um so viel mehr, je weiter Mars von der Apsidenlinie B C D ent-

fernt war. Für die Winkel BAM und BAN fand er z. B. die wahren Distanzen gleich Am und An, da doch der excentrische Kreis die gröſseren Distanzen AM und AN gab, und obendrein war die Differenz AN — An bedeutend gröſser, als AM — Am, so oft der Punct M näher an der Apsidenlinie BD lag, als der Punct N. Indem nun Kepler alle seine, durch Rechnung erhaltenen *wahren* Distanzen Am, An.. in seinen excentrischen Kreis BMND eingetragen und die Endpuncte m, n.. dieser Distanzen durch eine krumme Linie verbunden hatte, fand er, daſs diese krumme Linie *kein Kreis*, sondern eine in der Mitte zwischen den beiden Apsidenpuncten B und D abgeplattete, kurz eine *ovale Curve* seyn müsse. *Plane itaque hoc est*, setzt er S. 213 hinzu: *orbita planetae non est circulus, sed ingrediens ad latera utraque paulatim, iterumque ad circuli amplitudinem in perigaeo exiens, cujusmodi figuram itineris ovalem appellitant.*

Aber hier einmal auf seiner eigenen Bahn angekommen, sollte man glauben, müſste ein Mann seiner Art gleichsam von selbst auf die Vermuthung gerathen, daſs diese Curve wohl die einfachste von allen Ovalen, die er kannte, daſs sie die *Ellipse* seyn müsse. Allein war es, daſs seine Rechnungen oder seine auf diese Rechnungen gegründeten Zeichnungen nicht ganz fehlerfrei waren, oder spielte ihm, wie es auch sonst nur zu oft geschah, seine zu lebhafte Phantasie wieder einen bösen Streich — genug er verfiel nicht sogleich auf die Ellipse, sondern auf eine andere mehr zusammengesetzte Ovale, die ihm mit seinen Zeichnungen besser übereinzustimmen schien. Und so gewiſs glaubte er nun die einzig wahre Bahn der Planeten in dieser Ovale gefunden zu haben, daſs er seine vermeinte groſse Entdeckung ohne weitere Prüfung, wie es scheint, mit einer Art von Triumph dem damals berühmten Mathematiker David Fabricius mittheilte. Allein dieser, der den Gegenstand mit mehr Ruhe betrachtete, fand bald, daſs diese Curve den Beobachtungen keineswegs entspreche und daher als ganz unangemessen verworfen werden müsse. Er theilte diese Bemerkung Kepler mit, und dieser nahm, nach erhaltener besserer Einsicht, keinen Anstand, seinen Irrthum zu gestehn und die Geschichte desselben mit der ihm so natürlichen, heiteren Offenheit selbst seinen Lesern mitzutheilen. *Dum in hunc modum*, sagt er am Ende seiner Erzählung, *de*

Martis motibus triumpho, eique ut plane devicto tabularum carceres et aequationum compedes necto, diversis nuntiatur locis, futilem victoriam et bellum tota mole recrudescere. Jamque parum abfuit, quin hostis fugitivus sese cum rebellibus suis conjungeret, meque in desperationem adigeret: nisi raptim nova rationum physicarum subsidia, fusis et palantibus veteribus, submisissem, et qua sese captivus proripuisset, omni diligentia edoctus vestigiis ipsis nulla mora interposita inhaesissem. Itaque causae physicae in fumos abeunt.

Nachdem er also von diesem ersten Abwege wieder zurückgekommen war, suchte er eine neue, bessere Bahn einzuschlagen, und fand endlich, dafs die *Ellipse* allen Forderungen, welche die Beobachtungen Tycho's und seine Berechnungen derselben an ihn stellten, am besten entspreche. Schon seine ersten Versuche bestätigten diese Vermuthung auf das Vollkommenste, und er konnte nun mit voller Beruhigung seine schöne Entdeckung als ein *Gesetz der Natur* aufstellen, dafs nämlich alle Planeten, so wie auch die Erde selbst, in elliptischen Bahnen, deren einen Brennpunct die Sonne einnimmt, einhergehn.

Die Planeten bewegen sich also in Ellipsen um die Sonne, aber auf welche Weise? Welches ist die Geschwindigkeit dieser Planeten in ihren elliptischen Bahnen? Und wenn man diese Geschwindigkeit, die offenbar keine beständige, wie die im Kreise, sondern eine für jeden Augenblick veränderliche ist, einmal kennt, wie soll man dann den Ort des Planeten in seiner Bahn für jede gegebene Zeit durch Rechnung bestimmen? — Diese Fragen waren noch zu beantworten übrig, und sie gehören, wie man sieht, nicht zu den leichten, besonders wenn man den unvollkommenen Zustand der Mathematik zu Kepler's Zeiten in Betracht zieht. Aber der treffliche Mann hielt sich durch seine erste Entdeckung gleichsam aufgefordert, sein Werk zu vollenden, indem er diese aus seiner Entdeckung unmittelbar folgenden Probleme nicht auf seinen Lorbeeren ruhend den Nachfolgern überlassen wollte, sondern selbst sie aufzulösen sich bemühte. Die darauf verwendete Arbeit kostete ihm aber wieder zehn neue Jahre seines ohnehin mit Mühe und Sorgen überhäuften Lebens. Die Resultate seiner Untersuchungen theilte er, nebst

noch einer andern glänzenden Entdeckung, in seinem berühmten Werke: *Harmonices mundi libri quinque*. Linz 1619, der Nachwelt mit.

Nach manchen vergeblichen Versuchen, der Auflösung seines Problems näher zu kommen, bei welchen wir uns aber der Kürze wegen hier nicht weiter aufhalten wollen, bemerkte er, dafs bei den excentrischen Kreisen der Alten die Bewegung der Planeten in den Perihelien am schnellsten, in den Aphelien aber am langsamsten erscheine, und dafs sie zwischen diesen beiden Puncten auf der einen Seite der Apsidenlinie ebenso regelmäfsig abnehme, als sie auf der andern Seite wieder wachse. Er zweifelte nicht, dafs dasselbe wohl auch in der Ellipse der Fall seyn würde. Allein welches ist das Gesetz, nach welchem sich diese Bewegung in der Ellipse richtet? Welches auch die Antwort auf diese Frage seyn möchte, so war doch so viel klar, dafs es auch in der Ellipse irgend etwas geben müsse, was sich mit der Zeit gleichförmig ändert, weil sonst alle Berechnung dieser Bewegung unmöglich seyn würde. Vielleicht beschreibt der Planet für alle Puncte seiner Bahn in gleichen Zeiten gleiche Bogen; vielleicht nimmt seine Entfernung von der Sonne gleichförmig mit der Zeit ab und in der andern Hälfte der Bahn wieder ebenso gleichförmig zu u. s. w. Diese und mehrere ähnliche Fragen hielten Kepler ohne Zweifel lange auf, ohne ihn aber auf irgend ein befriedigendes Resultat zu leiten. Zufällig vielleicht gerieth er auch einmal auf den Einfall, zuzusehn, ob nicht die Flächen, welche der elliptische Radius Vector während der Bewegung des Planeten um die Sonne beschreibt, ihm einen solchen, schon so lange gesuchten Anhaltpunct geben könnten. Indem er dieses näher untersuchen wollte, bemerkte er, wie er selbst S. 165 seiner *Harmonice Mundi* erzählt, dafs bei dem excentrischen Kreise der Alten diese Flächen, wenigstens in den beiden entgegengesetzten Puncten der Apsiden, in der That den auf sie verwendeten Zeiten vollkommen proportional sind. Ist nämlich C der Mittelpunct der Sonne, RCQ die Apsidenlinie, und nimmt man in dieser Linie CA = CB, so dafs B die Sonne und A derjenige Punct ist, um welchen die Winkelbewegung des Planeten in dem Kreise MNOP gleichförmig seyn soll, so ziehe man durch den Punct A die zwei Geraden MAO und NAP. Da die Scheitelwinkel MAN und OAP gleich

Fig. 177.

sind, so werden also, nach der erwähnten Hypothese der Alten, die zwei Bogen MN und OP von den Planeten in gleicher Zeit beschrieben werden, und es ist daher nur noch zu zeigen, dafs auch die Flächen NBM und OBP einander gleich seyn müssen. Zieht man aber durch den Punct B die Linien BO, BP und ebenso BM, BN, so hat man, da die Winkel MAN und OAP gleich sind und da sich in zwei Kreisen die zu gleichen Winkeln gehörenden Bogen wie ihre Halbmesser verhalten,

$$MN:OP = AR:AQ,$$

also auch

$$MN.AQ = OP.AR.$$

Aber nach der Construction der Zeichnung ist

$$AQ = BR \text{ und } AR = BQ,$$

also ist auch

$$MN.BR = OP.BQ$$

und da bei kleinen Winkeln im Kreise die Flächen der Sectoren sich wie die Producte ihrer Bogen in die Halbmesser dieser Kreise verhalten, so sind auch die Flächen der beiden Sectoren MNB und OPB einander gleich.

Dieser einfache Lehrsatz, den Kepler gefunden hatte, erfreute sich seines Beifalls gleich in einem so hohen Grade, dafs er ihn, ohne weitere Beweise dafür zu suchen, sofort nicht nur auf alle Puncte des excentrischen Kreises, sondern auch ohne allen Anstand auf die Ellipse anwandte, sehr wenig, wie es scheint, darum verlegen, ob der Satz in dieser Ausdehnung auch streng erwiesen werden könne, und schon vollkommen damit zufrieden, dafs seine auf diesen Satz gegründeten Berechnungen so gut mit den Beobachtungen übereinstimmten, was denn auch allerdings die Hauptsache war, während er die schulgerechten Demonstrationen seiner nicht nur gemachten, sondern auch auf praktischem Wege vollkommen bewährten Entdeckung immerhin Andern überlassen konnte.

Dafür bemühte er sich desto mehr, eine angemessene Methode zu finden, durch welche man, unter dieser Voraussetzung eines mit der Zeit gleichförmig fortgehenden Wachsthums der elliptischen Sectorfläche, den Ort des Planeten in seiner Bahn für jeden gegebenen Augenblick bestimmen kann, da es die Auflösung dieses Problems war, welche er bei seinen fernern Untersuchungen vorzüglich bedurfte. Sey AMP eine Ellipse, Fig. 178.

C ihr Mittelpunct und F, F′ die beiden Brennpuncte, in deren einem F die Sonne ist, so daſs also der der Sonne nächste Punct P der Ellipse das Perihelium und der entfernteste A das Aphelium des Planeten M bezeichnet, der sich in der Peripherie dieser Ellipse und zwar so bewegt, daſs die Fläche MPF, die der Radius Vector FM des Planeten beschreibt, mit der Zeit gleichförmig wächst. Sey $\frac{1}{2}$f die Fläche dieses Sectors, $\frac{1}{2}$F die Fläche der ganzen Ellipse; es bezeichne T die Umlaufszeit des Planeten um die Sonne, in Tagen ausgedrückt, so wie endlich t die Anzahl der Tage, die seit dem Durchgange des Planeten durch sein Perihelium P verflossen sind. Dieses vorausgesetzt hat man nach dem erwähnten zweiten Kepler'schen Gesetze

$$\frac{\frac{1}{2}f}{\frac{1}{2}F} = \frac{t}{T} \text{ oder } \frac{f}{F} = \frac{t}{T}.$$

Bezeichnen nun a und b die halbe groſse und kleine Axe der Ellipse, so ist bekanntlich die Fläche derselben $\frac{1}{2}F = ab\pi$, wo $\pi = 3{,}14159\ldots$, und daher

$$\tfrac{1}{2}f = ab\pi . \frac{t}{T}.$$

Da man nun die Gröſsen a, b, T und t kennt oder als gegeben voraussetzt, so erhält man durch die letzte Gleichung für jede gegebene Zeit t nach dem Durchgange des Planeten durch sein Perihelium die dieser Zeit entsprechende Fläche $\frac{1}{2}f = PMF$ des elliptischen Sectors, und es handelt sich nun darum, aus dieser Fläche sowohl den Winkel $PFM = v$ als auch den Radius Vector $FM = r$ des Planeten M für dieselbe Zeit t durch Rechnung zu bestimmen. Ist nämlich F♈ die Linie der Nachtgleichen, und ist die Länge ♈FP $= \Pi$ des Perihels bekannt, wie hier vorausgesetzt wird, so wird die Länge des Planeten in seiner Bahn $\lambda =$ ♈FP + PFM oder

$$\lambda = \Pi + v$$

seyn, so daſs demnach der Ort des Planeten M in Beziehung auf die Sonne F durch diese beiden Gröſsen λ oder v und r vollständig bestimmt seyn wird. Man pflegt aber die Gröſse $\frac{f}{ab}$ die *mittlere Anomalie* des Planeten zu nennen und sie durch m zu bezeichnen, während der Winkel $PFM = v$ die *wahre Anomalie* des Planeten heiſst.

Allein wie findet man diese beiden Gröſsen v und r aus der gegebenen Gröſse f oder $\frac{f}{ab} = m$? Die Antwort auf diese Frage beschäftigte Kepler wieder längere Zeit, da ihm dieselbe zu seinen künftigen Arbeiten unentbehrlich war. Er bemerkte bald, daſs diese Aufgabe nicht zu den leichten gehöre, ja daſs eine directe Auflösung derselben unmöglich sey, selbst für den Fall, daſs die Bahn des Planeten nicht elliptisch, sondern nur kreisförmig angenommen werde. Er drückt sich darüber[1] so aus, indem er von seiner bloſs *indirecten* Auflösung des Problems spricht: *Haec enim est mea sententia: quae quominus habere videbitur geometricae pulchritudinis, hoc magis adhortor geometras, ut mihi solvant hoc problema: „Data area partis semicirculi, datoque puncto diametri, invenire arcum et angulum ad illud punctum,“ cujus anguli cruribus et quo arcu data area comprehenditur; vel etiam: „aream semicirculi ex quocunque puncto diametri in data ratione secare.“ Mihi sufficit, credere, problema hoc solvi a priori non posse propter arcus et sinus ἑτερογενεῖαν.* Er hatte darin ganz Recht, da die Auflösung des Problems seiner Natur nach auf eine transcendente Gleichung führt, in welcher die unbekannte Gröſse u als Bogen und zugleich als trigonometrische Function oder als Sin. u vorkommt, und da Gleichungen solcher Art nicht anders als indirect oder durch Reihen aufgelöst werden können. Er kommt später wieder auf die Schwierigkeiten dieses Problems zurück, und setzt am Ende hinzu: *qui mihi hoc problema directa via solutum exhibuerit, is mihi erit magnus Apollo-nius,* dabei auf den durch seinen Scharfsinn berühmten Apollonius anspielend, der nahe 250 Jahre vor Chr. Geb. in Alexandrien lebte und uns ein treffliches Werk über die Kegelschnitte hinterlassen hat.

Es sey MQ = y senkrecht auf die groſse Axe AP, und PQ = x, so ist die bekannte Gleichung der Ellipse

$$y = \frac{b}{a}\sqrt{2ax - x^2}$$

und daraus erhält man für das Differential der Fläche des elliptischen Segments

1 S. Harmon. Mundi. p. 300.

$$\partial . PMQ = y\partial x = \frac{b}{a}\partial x . \sqrt{2ax - x^2},$$

wovon das Integral ist

$$PMQ = \frac{ab}{2} \text{ Arc. Sin. } \frac{\sqrt{2ax - x^2}}{a} - \frac{b(a-x)}{2a}\sqrt{2ax - x^2},$$

was sich auch kürzer so ausdrücken läſst:

$$PMQ = \frac{ab}{2} \text{ Arc. Sin. } \frac{y}{b} - \tfrac{1}{2}(a - x)y.$$

Es ist aber auch die Fläche des ebenen Dreiecks

$$QMF = \tfrac{1}{2}(a - a\varepsilon - x)y = \tfrac{1}{2}(a-x)y - \tfrac{1}{2}a\varepsilon y,$$

wo $a\varepsilon = \sqrt{a^2 - b^2}$ die Excentricität $CF = CF'$ der Ellipse bezeichnet. Addirt man diese beiden Flächen des elliptischen Segments und des Dreiecks, so erhält man für die Fläche des elliptischen Sectors

$$PMF = \tfrac{1}{2}ab \text{ Arc. Sin. } \frac{y}{b} - \tfrac{1}{2}a\varepsilon y.$$

Es ist aber auch die bekannte Gleichung der Ellipse zwischen dem Radius Vector $FM = r$ und der wahren Anomalie $PFM = \nu$

$$r = \frac{a(1 - \varepsilon^2)}{1 + \varepsilon \text{Cos.} \nu},$$

also auch

$$y = r \text{Sin.} \nu = \frac{a(1 - \varepsilon^2)\text{Sin.} \nu}{1 + \varepsilon \text{Cos.} \nu}$$

und daher der vorhergehende Ausdruck des Sectors, da $b = a\sqrt{1 - \varepsilon^2}$ ist,

$$PMF = \tfrac{1}{2}ab \left\{ \text{Arc. Sin.} \left[\frac{(1-\varepsilon^2)^{\frac{1}{2}} \text{Sin.} \nu}{1 + \varepsilon \text{Cos.} \nu} \right] - \varepsilon . \frac{(1-\varepsilon^2)^{\frac{1}{2}} \text{Sin.} \nu}{1 + \varepsilon \text{Cos.} \nu} \right\}.$$

Setzt man in diesem Ausdrucke $\nu = 180° = \pi$, so ist $\text{Sin.} \nu = 0$ und $\text{Arc. Sin.} 0 = \pi$, also auch die Fläche der halben Ellipse $\tfrac{1}{2}ab\pi$ und die der ganzen $\tfrac{1}{2}F = ab\pi$, wie oben. Wird daher, wie zuvor, die Fläche des Sectors $PMF = \tfrac{1}{2}f$ und der Kürze wegen die Gröſse

$$\frac{(1 - \varepsilon^2)^{\frac{1}{2}} . \text{Sin.} \nu}{1 + \varepsilon \text{Cos.} \nu} = \text{Sin.} u$$

gesetzt, so geht die vorhergehende Gleichung in folgende über, wenn man wieder $PMF = \frac{1}{2} f$ setzt:

$$\frac{f}{ab} = u - \varepsilon \,\mathrm{Sin.}\, u \quad \ldots \quad (I)$$

Da man überdiefs nach dem Vorhergehenden hat

$$\frac{\frac{1}{2} f}{\frac{1}{2} F} = \frac{f}{F} = \frac{t}{T} \text{ und } \frac{1}{2} F = ab\pi,$$

so ist auch

$$\frac{f}{ab} = \frac{2\pi . t}{T},$$

also auch die Gleichung (I)

$$\frac{2\pi . t}{T} = u - \varepsilon \,\mathrm{Sin.}\, u \ldots \quad (I')$$

Setzt man aber die Hülfsgröfse $\mu = \frac{2\pi a^{\frac{3}{2}}}{T}$ oder $\frac{2\pi}{T} = \frac{\mu}{a^{\frac{3}{2}}}$, so erhält man, wenn man diesen Werth von $\frac{2\pi}{T}$ in der Gleichung (I') substituirt,

$$\frac{\mu t}{a^{\frac{3}{2}}} = u - \varepsilon \,\mathrm{Sin.}\, u \ldots \quad (I'')$$

und in allen diesen Gleichungen I, I', I''.. bezeichet der Ausdruck

$$\frac{f}{ab} = \frac{2\pi . t}{T} = \frac{\mu . t}{a^{\frac{3}{2}}}$$

die *mittlere Anomalie*, die wir oben durch m bezeichnet haben, so wie die eingeführte Hülfsgröfse u die *excentrische Anomalie* genannt zu werden pflegt. Wenn man über der grofsen Axe AP aus dem Mittelpuncte C derselben mit dem Halbmesser $CA = CP = a$ einen Kreis AmP beschreibt, und die Senkrechte PM verlängert, bis sie die Peripherie dieses Kreises in dem Puncte m schneidet, so ist, wie man leicht sieht, diese Hülfsgröfse u gleich dem Winkel PCm.

Noch wollen wir bemerken, dafs man aus der obigen Gleichung

$$\frac{f}{t} = \frac{2ab\pi}{T},$$

da der halbe Parameter p der Ellipse $= \frac{b^2}{a}$, also auch $b = \sqrt{ap}$ ist, erhält:

$$\frac{f}{t} = \frac{2a^{\frac{3}{2}}\pi.\sqrt{p}}{T}$$

oder

$$\frac{f}{t} = \mu.\sqrt{p}$$

welche letzte Gleichung zeigt, dafs das constante Verhältnifs der Sectorfläche zu der auf ihn verwendeten Zeit bei jeder einzelnen Planetenbahn der Quadratwurzel aus dem Parameter dieser Bahn proportional ist.

Verbindet man endlich die Gleichung der Ellipse

$$r = \frac{a(1-\varepsilon^2)}{1+\varepsilon \text{Cos.} v}$$

mit der oben angenommenen Hülfsgleichung

$$\text{Sin.} u = \frac{(1-\varepsilon^2)^{\frac{1}{2}} \text{Sin.} v}{1+\varepsilon \text{Cos.} v},$$

so leitet man daraus auch ohne Mühe noch die folgenden Ausdrücke ab:

$$\text{Cos.} v = \frac{\text{Cos.} u - \varepsilon}{1-\varepsilon \text{Cos.} u}; \ \text{Tang.} \tfrac{1}{2} v = \text{Tang.} \tfrac{1}{2} u . \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}} \ \ldots \quad \text{(II)}$$

$$\frac{\text{Sin.} v}{\text{Sin.} u} = \frac{a}{r}\sqrt{1-\varepsilon^2}; \quad r = a(1-\varepsilon \text{Cos.} u) \ \ldots \quad \text{(III)}$$

Durch die vorhergehenden Gleichungen ist aber das *Kepler'sche Problem*, wie dasselbe nach seinem Urheber genannt wird, vollständig aufgelöst. Ist nämlich von einer elliptischen Planetenbahn die halbe grofse Axe a und die Excentricität $a\varepsilon$ dieser Bahn, so wie die Umlaufszeit T des Planeten in dieser Bahn, also auch die Gröfse $\mu = \frac{2\pi . a^{\frac{3}{2}}}{T}$ gegeben, und kennt man die Zeit t, die seit dem Durchgange des Planeten durch sein Perihelium verflossen ist, so erhält man für das Ende dieser Zeit die excentrische Anomalie u durch eine der Gleichungen (I) oder durch

$$m = u - \varepsilon \text{ Sin.} u,$$

und dann erhält man die wahre Anomalie v und den Radius

Vector durch eine der Gleichungen (II) und (III), z. B. durch die Ausdrücke

$$\text{Tang.}\tfrac{1}{2}\nu = \text{Tang.}\tfrac{1}{2}\text{u}.\sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}}$$

und

$$\text{r} = \text{a}\,(1 - \varepsilon\,\text{Cos.u}).$$

Zur Bestimmung der für alle Planetenbahnen constanten Gröſse[1]

$$\mu = \frac{2\pi.\text{a}^{\frac{3}{2}}}{\text{T}}$$

hat man z. B. für die Erde, wenn man die halbe groſse Axe a ihrer Bahn gleich der Einheit und die siderische Umlaufszeit T = 365,256384 annimmt,

$$\mu = \frac{2\pi}{\text{T}} = 0{,}0172021.$$

Durch das Vorhergehende war nun die Bewegung eines jeden Planeten in seiner Bahn vollkommen bestimmt, und das Mittel gegeben, den wahren Ort desselben für jede Zeit in dieser Bahn aufzufinden. Allein wenn man von einer dieser Bahnen zu einer anderen übergehn wollte, so fehlte dazu der Weg. Jede dieser Bahnen stand gleichsam isolirt für sich am Himmel, und man konnte kein Band auffinden, welches sie alle zu einem gemeinschaftlichen Ganzen verbindet. Kepler ahnete dieses Band, aber er suchte volle siebenzehn Jahre, wie er selbst gesteht, vergebens nach demselben. Vor allem war es ihm darum zu thun, ein über alle Planeten sich erstreckendes Gesetz aufzufinden, das zwischen ihren Entfernungen von der Sonne und zwischen ihren Umlaufszeiten um diesen Centralkörper, wie er durch eine Art von Divination voraussah, statt haben sollte. Schon in seinem ersten astronomischen Werke, dem *Mysterium cosmographicum* (1596), das übrigens noch voll jugendlicher Einbildungen und Phantasiespiele ist, hatte er nach einem solchen Gesetze gesucht, und dazu vorzüglich die sogenannten harmonischen Verhältnisse benutzen wollen, die schon die alten Pythagoräer in den verschiedenen Entfernungen der Planeten von der Sonne gefunden haben wollten. Da er aber diesen Einfall bald als ungenügend erkannte, so versuchte er später, ebenfalls nach dem Beispiele der Alten, die verschiedenen Längen

1 Vergl. Art. *Umlaufszeiten*. Bd. IX. S. 1228.

der Saiten, welche in der Musik die Terze, Quarte, Octave u. s. w. geben, jenen Entfernungen der Planeten anzupassen, eine Meinung, die er noch in seinem spätern Werke *Harmonice mundi* (1619) umständlicher untersuchte, aber ebenfalls ganz ungegründet fand. In demselben Werke gerieth er auch auf die Idee, die fünf Distanzen der sechs damals bekannten Planeten unter einander mit den fünf sogenannten Platonischen Körpern (dem Tetraeder, Hexaeder, Oktaeder, Dodekaeder und Ikosaeder) in Verbindung zu bringen, was ihm aber ebenso wenig, als alle seine frühern Experimente, gelingen wollte. Endlich gerieth er, wie er selbst erzählt, am 8ten März 1618 auf den einfachen Gedanken, die verschiedenen Zahlen, welche die Umlaufszeiten der Planeten und die grofsen Axen ihrer Bahnen ausdrücken, in Beziehung auf ihre Potenzen zu untersuchen. Er verglich daher auf Gerathewohl die Quadrate, Würfel und Biquadrate dieser Zahlen, und unter andern auch selbst die Quadrate der Umlaufszeiten mit den Würfeln der grofsen Axen. Aber auch hier konnte er nichts Befriedigendes finden, so dafs er endlich auch diese Speculation mit allen vorhergehenden, als nicht zum Zwecke führend, verwarf. Einige Wochen nach diesem letzten Versuche, als er zufällig wieder seine Papiere von jenem Tage zur Hand nahm, glaubte er sich deutlich zu erinnern, dafs er damals, von seiner hastigen Ungeduld getrieben, sehr schnell gerechnet und sich, wie es dem lebhaften Manne auch sonst oft genug widerfuhr, auch wohl verrechnet haben könnte. Er nahm daher am 15ten Mai desselben Jahres diese Rechnungen noch einmal vor, verfuhr jetzt bedächtiger, und fand bald, dafs sein letzter Verdacht gegen jene früheren Arbeiten nur zu gegründet gewesen war. Gleich die ersten Vergleichungen zeigten ihm, *dafs die Quadrate der Umlaufszeiten* bei allen Planeten *sich wie die Würfel ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne verhalten.* Von welcher Freude diese Entdeckung des *dritten Kepler'schen Gesetzes* begleitet war, mufs man in seinem Werke (*Harmonice mundi* p. 189) selbst nachlesen.

Durch diese drei Gesetze, zu deren Auffindung einer der ausgezeichnetsten Geister sein ganzes mühvolles und sorgenschweres Leben verwendet hatte, lassen sich nun die sämmtlichen Bewegungen unseres Sonnensystems, sofern dieselben der reinen Ellipse angehören, vollständig erklären. Alle seit

zwei Jahrhunderten angestellten Beobachtungen haben die Wahrheit dieser Gesetze in einem solchen Maſse bestätigt, wie wohl nur wenige unserer sogenannten menschlichen Wahrheiten bestätigt seyn mögen. Jahrtausende sind über dem Menschengeschlechte dahingezogen, während welcher diese Gesetze, mit Feuerzügen in den Bahnen jener leuchtenden Kugeln am Himmel geschrieben, uns allen unlesbar geblieben sind, bis es endlich einem vorzüglich begabten, glücklichen Mann gelang, diese Züge zu entziffern und dadurch seinen eigenen Namen mit ebenso unvergänglichen Charakteren in den gestirnten Himmel einzutragen. Dort wird man diesen Namen noch in spätester Zukunft mit Ehrfurcht lesen, und die dankbare Nachwelt wird, so lange sie den Sinn für Wissenschaft bewahrt, auch das Andenken an einen der seltensten und gröſsten Menschen bewahren, der dem Glücke, den Verhältnissen, der Protection der Groſsen nichts, sondern alles nur sich selbst, seinem Genie und seiner unermüdlichen Ausdauer verdankte, dessen Andenken noch leben und dessen Gesetzbuch noch bestehn wird, wenn der Codex Justinian's und der Napoleon's längst schon vergessen, und das seiner ganz unwürdige Denkmal von Backsteinen längst schon in Staub zerfallen seyn wird, durch welches der Fürst Primas von Dalberg der Schmach des Landes, das seinen groſsen Mitbürger im Leben verhungern lassen und nach seinem Tode vergessen konnte, wieder aufzuhelfen geruhn wollte.

M. Tabellarische Darstellung des Weltsystems.

Zum Schlusse dieses Gegenstandes geben wir nun die tabellarische Zusammenstellung der *Elemente unseres Planetensystems*, wie sie aus den neuesten Beobachtungen und Berechnungen derselben hervorgegangen ist. Wir suchten dabei vorzüglich die schöne Darstellung zu benutzen, die Baily in seinen „*Astronomical Tables*" und nach ihm noch sorgfältiger Hansen in dem Jahrbuche für das Jahr 1837 gegeben hat. Da diese Elemente die Basis aller unserer Planetenberechnungen sind, so wird es, wie wir vertrauen, den Lesern interessant seyn, nicht nur eine vollständige, sondern auch zugleich eine möglichst genaue Aufzählung aller dieser Elemente mit den daraus

entspringenden nächsten Folgerungen hier vor ihren Blicken aufgestellt zu sehn.

Tafel I. Mittlere Entfernungen von der Sonne in Theilen der halben grofsen Axe der Erdbahn.

Mercur	0,3870938
Venus	0,7233317
Erde	1,0000000
Mars	1,5236910
Vesta	2,36148
Juno	2,66946
Ceres	2,77091
Pallas	2,77263
Jupiter	5,202767
Saturn	9,538850
Uranus	19,182390

Der sogenannte *Halbmesser* oder eigentlich die *halbe grofse Axe* der Erdbahn (oder die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne), die hier als Einheit angenommen wurde, beträgt 20665840 geographische Meilen, diese Meile zu 3802,6191 Par. Toisen oder zu 22815,715 Par. Fufs gerechnet. Wenn man daher die Zahlen der Tafel I. durch 20665840 multiplicirt, so erhält man die mittlern Entfernungen der Planeten von der Sonne in geographischen Meilen. Wenn man die Zahlen dieser Tafel durch $\frac{1}{2 \,\text{Sin.}\, 8'',578} = 12022$ multiplicirt, so erhält man diese mittleren Entfernungen der Planeten in Erddurchmessern ausgedrückt, multiplicirt man sie aber durch $\frac{12022}{112,1}$ oder durch 107,7, so erhält man jene Entfernungen in Sonnendurchmessern ausgedrückt.

Tafel II. Umlaufszeiten der Planeten um die Sonne, in mittleren Sonnentagen ausgedrückt.

	Siderische	Tropische	Synodische
Mercur	87,96928 Tage	87,96846 Tage	115,88 Tage
Venus	224,70078	224,69543	583,92
Erde	365,25637	365,24222	— —
Mars	686,97964	686,92971	779,98
Vesta	1325,485	1325,298	504,21
Juno	1593,067	1592,797	473,92
Ceres	1684,735	1684,434	466,38
Pallas	1686,305	1686,003	466,26
Jupiter	4332,58480	4330,59317	398,90
Saturn	10759,21981	10746,93761	378,10
Uranus	30686,82055	30586,90839	369,67

Die siderische Revolution ist die Umlaufszeit in Beziehung auf die Fixsterne oder auf einen festen Punct des Himmels. In der Zeit einer solchen Revolution legt daher der Planet volle 360 Grade um die Sonne zurück. Die tropische Revolution ist die Umlaufszeit in Beziehung auf die Nachtgleichenpuncte, und die synodische endlich in Beziehung auf die Sonne. Da die Nachtgleichen in unseren Zeiten jährlich um 50",224 rückwärts oder gen West zurückweichen, und da die Sonne in ihrer mittleren tropischen Bewegung täglich

$$\frac{360}{365,24222} = 0^\circ,985644 = 0^\circ\ 59'\ 8'',318$$

von West gen Ost vorrückt, so ist die Wiederkunft zu den Nachtgleichen oder die tropische Revolution bei allen Planeten, und die synodische bei den sieben letzten kleiner, als die siderische.

Tafel III. Umlaufszeiten der Planeten in Jahren, Tagen, Stunden u. s. w. der mittleren Sonnenzeit ausgedrückt.

	Siderische	Tropische	Synodische
Mercur	87 Tag 23h 15′ 46″	87 T. 23h 14′ 35″	115 T. 21h
Venus	224 T. 16h 49′ 7″	224 T. 16h 41′ 25″	1 Jahr 218 T. 16h
Erde	365 T. 6h 9′ 10″,7496	365 T. 5h 48′ 47″,8091	— —
Mars	1 J. 321 T. 17h 30′ 41″	1 J. 321 T. 16h 18′ 47″	2 Jahr 49 T. 12h
Vesta	3 J. 229 T. 17h 38′ 0″	3 J. 229 T. 13h 9′ 0″	1 Jahr 138 T. 23h
Juno	4 J. 132 T. 1h 36′ 0″	4 J. 131 T. 19h 8′ 0″	1 Jahr 108 T. 16h
Ceres	4 J. 223 T. 17h 38′ 0″	4 J. 223 T. 10h 25′ 0″	1 Jahr 101 T. 3h
Pallas	4 J. 225 T. 7h 19′ 0″	4 J. 225 T. 0h 4′ 0″	1 Jahr 101 T. 0h
Jupiter	11 J. 314 T. 20h 2′ 7″	11 J. 312 T. 20h 14′ 10″	1 Jahr 33 T. 16h
Saturn	29 J. 166 T. 23h 16′ 32″	29 J. 154 T. 16h 30′ 10″	1 Jahr 12 T. 20h
Uranus	84 J. 5 T. 19h 41′ 36″	83 J. 271 T. 3h 48′ 5″	1 Jahr 4 T. 16h

Die Jahre dieser Tafel sind die sogenannten Julianischen Jahre von 365¼ Tagen oder 365 T. 6h mittl. Zeit, wie sie in unsern Kalendern gebraucht werden, wo immer von drei auf einander folgenden gemeinen Jahren jedes 365 und das nächste oder das Schaltjahr 366 ganze Tage hat.

Tafel IV. Mittlere tägliche tropische Bewegung.

Mercur	4°	5′	32″,6
Venus	1	36	7,8
Erde	0	59	8,318
Mars	0	31	26,7
Vesta	0	16	17,9
Juno	0	13	33,7
Ceres	0	12	49,4
Pallas	0	12	48,7
Jupiter	0	4	59,3
Saturn	0	2	0,6
Uranus	0	0	42,4

Die Zahlen dieser Tafel folgen unmittelbar aus den tropischen Revolutionen der Tafel II oder III. Sie sind übrigens, so wie auch die tropischen und synodischen Umlaufszeiten der Planeten, mit der Folge der Jahrhunderte etwas veränderlich, aber

so ungemein wenig, dafs man diese Aenderungen während einer längern Zeit ohne Nachtheil unberücksichtigt lassen kann. So wird z. B. die in Taf. II oder III aufgeführte tropische Umlaufszeit der Erde in jedem folgenden Jahrhundert um 0″,595, also mit jedem Jahre um 0″,00595 kürzer, als es jetzt ist, aber mit der Zeit wird diese Abnahme wieder in ein Wachsthum übergehn. Die siderischen Umlaufszeiten aber, so wie die halben grofsen Axen der Bahnen, die in Taf. I aufgeführt sind, bleiben für alle Zeiten unveränderlich.

Die nun folgenden, ebenfalls veränderlichen Elemente der Tafeln V bis XI gelten bei den sechs älteren Planeten für das Jahr 1800 den 1sten Januar um 0 Uhr mittlerer Zeit oder für den mittlern Mittag in Paris, bei den vier neuen Planeten aber für 1831 den 23. Juli 0 Uhr mittlerer Zeit in Berlin.

Tafel V. Mittlere Längen oder Epochen der Planeten.

Mercur	112	16′	4″,8
Venus	146	44	55,8
Erde	100	53	29,9
Mars	233	5	33,9
Vesta	84	47	3,2
Juno	74	39	43,6
Ceres	307	3	25,6
Pallas	290	38	11,8
Jupiter	81	54	48,6
Saturn	123	6	29,3
Uranus	173	30	37,2

Mit Hülfe der beiden letzten Tafeln wird man die *mittlere Länge* dieser Planeten für jede gegebene Zeit t bestimmen können, indem man die seit der Epoche verflossenen Tage in die Zahlen der Taf. IV multiplicirt und das Product zu der Zahl der Taf. V addirt, wenn die Zeit t nach der Epoche folgt, oder subtrahirt, wenn sie der Epoche vorhergeht.

Tafel VI. Verhältnisse der Excentricitäten der Planetenbahnen zu ihren halben grofsen Axen.

	Excentricität für 1800	Säculäre Aenderung
Mercur	0,205616	+ 0,0000038
Venus	0,006862	— 0,0001088
Erde	0,016792	— 0,0000430
Mars	0,093217	+ 0,0000900
Vesta	0,08856	— —
Juno	0,25556	— —
Ceres	0,07674	— —
Pallas	0,24200	— —
Jupiter	0,048162	+ 0,0001535
Saturn	0,056150	— 0,0003100
Uranus	0,046611	— 0,0000260

Die Zeichen + deuten eine Vermehrung, die — aber eine Abnahme der Excentricität an. So wird die Excentricität der Erdbahn im J. 1900 gleich 0,016749 seyn, wie sie im Jahre 1700 gleich 0,016835 war. Bei den vier neuen Planeten ist die Veränderung der Excentricität noch nicht genau bekannt. Die Zahlen dieser Tafel setzen die halbe grofse Axe einer jeden Planetenbahn als Einheit voraus, oder sie geben das Verhältnifs der Excentricität (d. h. der Distanz des Mittelpuncts der Ellipse von jedem ihrer Brennpuncte) zu der halben grofsen Axe der einzelnen Bahnen. Multiplicirt man demnach die Zahlen dieser Tafel durch die Zahlen der Tafel I, so erhält man zum Producte diese Distanz des Mittelpuncts der Ellipse von dem Brennpuncte, in Theilen der halben grofsen Axe der Erdbahn ausgedrückt, und daher auch in geogr. Meilen, wenn man das letzte Product wieder durch 20665840 multiplicirt.

Tafel VII. Gröfste Mittelpunctsgleichungen der Planeten.

Mercur	23°	40′	43″,0
Venus	0	47	10,8
Erde	1	55	27,6
Mars	10	41	33,3
Vesta	10	9	26,7
Juno	29	30	42,4
Ceres	8	47	58,2
Pallas	27	55	22,2
Jupiter	5	31	13,6
Saturn	6	26	12,1
Uranus	5	20	32,8

Diese Mittelpunctsgleichungen sind die gröfsten Abweichungen, um welche der wahre Planet vor seinem mittlern Orte voraus oder hinter ihm zurück seyn kann, oder sie sind die gröfstmöglichen Differenzen zwischen den wahren und mittlern Längen der Planeten. Sie folgen unmittelbar aus den Zahlen der Taf. VI. Nennt man nämlich e das Verhältnifs der Excentricität zur halben grofsen Axe, wie sie die Taf. VI giebt, so ist die gröfste Gleichung ω des Mittelpuncts

$$\omega = 2e + \frac{11}{48}e^3 + \frac{599}{5120}e^5 + \frac{17219}{229376}e^7 + \ldots$$

Tafel VIII. Länge des Periheliums der Planetenbahnen.

	Perihelien			Säculäre Aenderung siderisch	Säculäre Aenderung tropisch
Mercur	74°	20′	5″,8	581″	5603″
Venus	123	43	6,0	— 324	4698
Erde	99	30	28,6	1125	6147
Mars	332	22	51,2	1546	6568
Vesta	249	11	37,0	—	—
Juno	54	17	12,3	—	—
Ceres	147	41	23,5	—	—
Pallas	121	5	0,3	—	—
Jupiter	11	7	38,0	665	5687
Saturn	89	8	20,0	1931	6953
Uranus	167	30	24,0	228	5250

Das Zeichen — bei der Venus zeigt an, daſs das Perihel der Venusbahn siderisch rückwärts oder von Ost gen West geht.

Tafel IX. Länge des aufsteigenden Knotens der Bahnen in der Ekliptik.

				säculäre Aenderung	
				siderische	tropische
Mercur	45°	57′	9″	−1007″	4215″
Venus	74	51	41	−2050	2972
Erde	—	—	—	—	—
Mars	47	59	38	−2522	2500
Vesta	103	20	28	—	
Juno	170	52	34	—	
Ceres	80	53	50	—	
Pallas	172	38	30	—	
Jupiter	98	25	45	−1590	3432
Saturn	111	56	7	−1954	3068
Uranus	72	59	21	−3605	1417

Das Zeichen — bedeutet eine rückgängige oder westliche Bewegung der Knoten.

Tafel X. Neigungen der Bahnen gegen die Ekliptik.

				säculäre Aenderung
Mercur	7°	0′	5″,9	+ 18″,4
Venus	3	23	28,5	+ 7,2
Erde	—	—	—	—
Mars	1	51	6,2	— 1,3
Vesta	7	7	37,3	—
Juno	13	2	10,0	—
Ceres	10	36	55,7	—
Pallas	34	35	49,1	—
Jupiter	1	18	51,6	— 23,0
Saturn	2	29	35,9	— 15,0
Uranus	0	46	28,0	—

Das Zeichen — bedeutet eine Abnahme oder Verminderung der Neigung.

Tafel XI. Rectascension des aufsteigenden Knotens der Bahn und Neigung derselben gegen den Aequator.

	Rectascension des Knotens			Neigung gegen den Aequator		
Mercur	10°	29′	40″	28°	45′	8″
Venus	7	58	56	24	33	21
Erde	—	—	—	23	27	55
Mars	3	17	20	24	44	24
Vesta	18	8	12	22	50	16
Juno	11	1	17	10	47	0
Ceres	23	30	40	27	7	40
Pallas	158	55	54	11	40	17
Jupiter	3	17	12	23	18	28
Saturn	6	0	59	22	38	44
Uranus	1	51	12	23	41	24

Tafel XII. Scheinbare Durchmesser der Planeten von der Erde gesehn.

	mittlerer	gröſster	kleinster
Mercur	6″,7	12″,0	4″,4
Venus	17,0	62,0	9,5
Erde	—	—	—
Mars	5,8	23,0	3,3
Vesta	0,3?		
Juno	2,0?		
Ceres	1,6?		
Pallas	2,6?		
Jupiter	38,4	46,0	30,0
Saturn	17,1	20,0	15,5
Uranus	3,9	4,0	3,8
Sonne	1921,8	1954,6	1890,1
Mond	1867,0	2011,0	1762,0

Da man aus dem Vorhergehenden die mittlere, gröſste oder kleinste Entfernung kennt, in welchen die Planeten von der Erde stehn können, so lassen sich aus den Zahlen dieser Tafel die wahren Durchmesser dieser Planeten so finden, wie sie die folgende Tafel angiebt.

Tafel XIII. Verhältnisse des wahren Durchmessers, der Oberfläche und des Volumens der Planeten zu denen der Erde.

	Wahrer Durchmesser	Oberfläche	Volumen
Mercur	0,391	0,15	0,06
Venus	0,985	0,97	0,96
Erde	1,000	1,00	1,00
Mars	0,519	0,27	0,14
Vesta	0,03	0,001	0,00005
Juno	0,18	0,03	0,005
Ceres	0,20	0,04	0,008
Pallas	0,26	0,07	0,017
Jupiter	11,225	126,0	1414
Saturn	9,022	81,4	735
Uranus	4,344	18,9	82
Sonne	112,06	12560	1407500
Mond	0,264	0,0697	0,018

Die zwei letzten Columnen dieser Tafel folgen unmittelbar aus der ersten, da die Oberflächen der Kugeln sich wie die Quadrate und die Volumina wie die Würfel der Durchmesser dieser Kugeln verhalten.

Tafel XIV. Masse, Dichtigkeit, Schwerkraft auf der Oberfläche, Licht und Wärme, und Rotation der Planeten.

	Masse, die der Sonne = 1	Dichtigkeit, die der Erde = 1	Schwerkraft, die der Erde = 1	Licht und Wärme	Rotation in mittl. Tagen
Mercur	$\frac{1}{2025810}$	2,94	1,15	0,67	1,0035
Venus	$\frac{1}{401847}$	0,92	0,91	1,91	0,973
Erde	$\frac{1}{354936}$	1,00	1,00	1,00	0,997
Mars	$\frac{1}{2680337}$	0,96	0,50	0,43	1,026
Jupiter	$\frac{1}{1054}$	0,24	2,69	0,037	0,4135
Saturn	$\frac{1}{3500}$	0,14	1,26	0,011	0,4370
Uranus	$\frac{1}{17918}$	0,24	1,05	0,003	—
Sonne	1	0,25	28,01	—	25,5
Mond	$\frac{1}{31138530}$	0,62	0,16	1,00	27,322

Ist für einen Planeten R die mittlere Entfernung von der Sonne, m die Masse, 2r der wahre Durchmesser, d die Dichtigkeit und g der Raum, welchen frei fallende Körper auf der Oberfläche dieses Planeten in der ersten Secunde zurücklegen, und bezeichnet man für einen andern Planeten dieselben Gröſsen durch R', m', 2r', d' und g', so hat man

$$\frac{d'}{d} = \frac{m'r^3}{mr'^3} \text{ und } \frac{g}{g'} = \frac{m'r^2}{mr'^2} = \frac{d'r'}{dr}$$

und der Einfluſs des Lichts und der Wärme ist

$$\frac{W}{W'} = \frac{R^2}{R'^2}.$$

Für die Erde ist g = 15,098 Par. Fuſs = 4,9045 Meter, und nach den vorhergehenden Tafeln R = d = 2r = 1.

Aus den vorhergehenden Tafeln lassen sich nun auch die folgenden Zusammenstellungen leicht ableiten. Da man aber dieselben nur selten zu eigentlich astronomischen Rechnungen gebraucht, sondern da sie mehr eine allgemeine Uebersicht unsers Planetensystems geben sollen, so wurden sie in bloſsen sogenannten runden Zahlen aufgeführt, um so mehr, da bei den jetzigen Kenntnissen dieses Systems die letzten Ziffern dieser Zahlen nicht wohl bestimmt verbürgt werden können. Zum bessern Verständniſs des Folgenden wollen wir aber einige vorläufige Betrachtungen vorausschicken.

Um die in Halbmessern der Erdbahn gegebenen Gröſsen der Taf. I in anderen kleineren Maſsen, z. B. in Halbmessern der Erde, in Meilen oder Toisen u. s. w. auszudrücken, muſs man zuerst die Verhältnisse dieser verschiedenen Maſse unter einander bestimmen[1].

Vergleicht man die zwei neuesten, mit vorzüglicher Sorgfalt gemessenen Meridianbogen, in Frankreich durch Delambre und in Lappland durch Svanberg, so findet man unter der Voraussetzung, daſs die Erde ein Rotationssphäroid (oder ein durch Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Axe entstandener Körper) ist, für die halbe groſse Axe dieses Sphäroids

---

1 Wenig von diesen abweichende Bestimmungen findet man Art. *Erde.* Bd. III. S. 930. Vergl. Art. *Maſs.* Bd. VI. S. 1261.

$a = 3271691$ Toisen und für die halbe kleine
$b = 3260964$ . . .,

wo die Toise die sogenannte *Toise de Perou* ist, deren sechster Theil den k. Par. Fuſs bildet, und wo man hat

Meter = 3,078444 Par. Euſs
englischer Fuſs = 0,9382944 — —
rheinl. Fuſs = 0,9661806 — —
Wien. Fuſs = 0,9731250 — —

Aus jenen Werthen von a und b folgt die Abplattung der Erde

$$\alpha = \frac{a - b}{b} = \frac{1}{304}$$

und die Excentricität derselben

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} = 0{,}081 .$$

Für diese Ellipse, deren halbe groſse und kleine Axe a und b sind, hat man

$$\text{Peripherie der Ellipse} = \frac{2b^2\pi}{a}\left[1 + \tfrac{3}{4}\varepsilon^2 + \frac{45\varepsilon^4}{64} + \ldots\right]$$
$$\text{Fläche der Ellipse} = ab\pi,$$

wenn man die sechsten und höheren Potenzen der sehr kleinen Gröſse vernachlässigt und $\pi = 3{,}1415926..$ setzt. Für das Sphäroid aber, das durch die Umdrehung dieser Ellipse um ihre kleine Axe 2b entstanden ist, ist

die Oberfläche des Sphäroids $= 4b^2\pi\,[1 + \tfrac{2}{3}\varepsilon^2 + \tfrac{3}{5}\varepsilon^4]$
und das Volumen desselben $= \tfrac{4}{3}a^2b\pi$.

Setzt man in diesem Ausdrucke $a = b$, so erhält man für den Kreis des Halbmessers a

Peripherie $= 2a\pi$,
Fläche $= a^2\pi$

und für die Kugel

Oberfläche $= 4a^2\pi$,
Volumen $= \tfrac{4}{3}a^3\pi$, wie bekannt.

Aus den oben angegebenen Werthen von a und b für das Erdsphäroid, verbunden mit den letzten analytischen Ausdrükken, folgt, daſs der Halbmesser eines Kreises, der mit dem elliptischen Meridian einerlei Umfang hat, 3266330 Toisen, und daſs der Halbmesser R einer Kugel, die mit dem ellipti-

schen Erdsphäroid, dessen Halbaxen a und b sind, einerlei Volumen oder körperlichen Inhalt hat, $\sqrt[3]{a^2 b} = 3268111$ Toisen beträgt.

Nimmt man also die Erde als eine Kugel an, deren Halbmesser gleich der letzten Zahl oder gleich 3268111 Toisen ist, so ist die Länge der Peripherie eines gröſsten Kreises dieser Kugel

$$2 R \pi = 20534143 \text{ Toisen},$$

also auch dessen 5400ster Theil oder die sogenannte geographische Meile, deren 15 auf einen jeden Grad dieses Kreises gehn,

geogr. Meile = 3802,6191 Tois. = 22815,7146 Par. Fuſs

und daher auch der Halbmesser jener Kugel gleich

$$\frac{3268111}{3802,6191} = 859,4366 \text{ geogr. Meilen},$$

so daſs also auch die Oberfläche dieser Kugel

$$4 R^2 \pi = 134215710 \text{ Millionen Quadrattoisen}$$
$$= 9281916 \text{ Quadratmeilen},$$

und endlich das Volumen dieser Erdkugel

$$\tfrac{4}{3} R^3 \pi = 146210540 \text{ Billionen Kubiktoisen}$$
$$= 2659073060 \text{ Kubikmeilen beträgt.}$$

Da wir in dem Folgenden die Gröſsen und die Entfernungen der himmlischen Körper mit den Dimensionen unserer Erde vergleichen wollen, so wird es zweckmäſsig seyn, sich von der Gröſse der letztern vorerst einige näher bestimmte Begriffe zu verschaffen.

Um z. B. das *Gewicht* der ganzen Erdmasse wenigstens einigermaſsen zu schätzen, so wiegt bekanntlich ein Par. Kubikfuſs reines Regenwasser 61,316 Wiener Pfunde, also auch eine Kubikmeile (die Meile, wie oben, zu 22815,7146 Par. Fuſs gezählt) 7282590 Millionen Wiener Centner. Eine Wassermasse von gleichem Volumen mit der Erde würde demnach

19364940000 Billionen Wiener Centner

wiegen, und da, nach Maskelyne's und Cavendish's Messungen, die Dichte der Erde zu der des Wassers sich wie 9 zu 2 verhält, so wiegt die ganze Erde

87142230000 Billionen Wien. Centner.

Nehmen wir an, daſs ein Sandkorn eine Pariser Linie lang,

breit und hoch sey, so würde, wenn der Zoll 10 Linien, der Fuſs 10 Zoll, also auch die Toise 600 Linien hat, eine Kubiktoise 216 Millionen, eine Kubikmeile 11876871 Billionen und die ganze Erde

31581 Quadrillionen

solcher Sandkörner enthalten. Um sich aber diese letzte Zahl nur wieder einigermaſsen zu versinnlichen, wollen wir annehmen, daſs man in jeder Zeitsecunde zehn solcher Körner von der groſsen Erdmasse abzählen könnte. Dann würde man in einem Jahre von 365¼ Tagen 31557600000 Körner zählen und die ganze Anzahl von 31581 Quadrillionen Körnern erst in 1000757 Billionen Jahren abzählen können, oder man würde in den 6000 Jahren, die nach der gewöhnlichen Rechnung unsere Erde bestehn soll, noch nicht den 200billionsten Theil aller jener Sandkörner gezählt haben. Und doch ist diese Erde nur einer der kleineren der uns bekannten Himmelskörper, da man z. B. aus dem Körper Saturns 735, aus dem des Jupiter 1414 und aus dem der Sonne sogar 1407100 solche Körper, die an Gröſse unserer Erde gleich sind, machen könnte. Aber selbst die Durchmesser dieser gewaltigen Körper sind wieder nur als sehr klein zu achten, wenn man sie mit den enormen Distanzen vergleicht, welche diese Körper unseres Planetensystems von einander trennen. So beträgt der Halbmesser der Sonne, wie wir in der vorhergehenden Tafel XIII gesehn haben, 112 Erdhalbmesser, während die Entfernung des Mittelpuncts der Sonne von dem der Erde 220, von Jupiter 1178 und von Uranus 4340 Sonnenhalbmesser, also die letzte Distanz 486080 Erdhalbmesser oder über 400 Millionen Meilen beträgt. Und selbst diese Distanzen, so ungeheuer sie uns auch erscheinen mögen, was sind sie gegen die Entfernungen jener anderen Himmelskörper, die in zahlloser, vielleicht in wahrhaft unendlicher Menge jenseit der Grenzen unseres Sonnengebietes den endlosen Weltenraum erfüllen! Der nächste dieser *Fixsterne* ist wenigstens 200000mal weiter, als die Erde von der Sonne entfernt, oder die Distanz desselben von uns beträgt wenigstens vier Billionen Meilen. Das Licht, dessen Geschwindigkeit die gröſste ist, die wir in der Natur kennen gelernt haben, legt den Weg von der Sonne zur Erde (oder den Weg von mehr als 20 Millionen Meilen) in 8 Min. 13 Sec. zurück. Die gröſste Geschwindigkeit eines leicht

und unter den günstigsten Umständen segelnden Schiffes beträgt 26 Par. Fuſs in einer Secunde oder nahe 100 Meilen in einem Tage. Ein solches Schiff würde daher, um die Entfernung der Erde von der Sonne zurückzulegen, volle 580 Jahre brauchen. Dasselbe Licht aber, mit seiner uns ganz unbegreiflichen Geschwindigkeit von 957 Millionen Fuſs in einer Secunde, würde doch jenen nächsten, vier Billionen Meilen von uns entfernten Fixstern erst in drei Jahren erreichen. Aus diesem Fixstern würde der Durchmesser der ganzen Erdbahn (oder eine gerade Linie von 40 Millionen Meilen), wenn sie senkrecht auf der Gesichtslinie nach diesem Stern steht, nur unter dem sehr kleinen Winkel von einer Secunde erscheinen. Allein es giebt noch unzählige andere Fixsterne, aus welchen dieselbe gerade Linie nur unter dem Winkel von $\frac{1}{100}$ Secunde erscheint, und die Distanz von diesen Sternen beträgt über 400 Billionen Meilen, so daſs das Licht die Distanz von ihnen bis zu uns erst nach vollen drei Jahrhunderten zurücklegen kann. Es wird daher unzählige solche Himmelskörper geben, deren Licht in den 6000 Jahren, seit welchen die Erde da seyn soll, noch nicht Zeit genug gefunden hat, von diesen Sternen bis zu uns zu gelangen. Von vielen derselben wird das Licht, seiner wahrhaft entsetzlichen Geschwindigkeit ungeachtet, vielleicht erst nach vielen andern Jahrtausenden auf der Erde ankommen; unsere späten Nachkommen erst werden den Himmel mit solchen Sternen bedeckt sehn, die lange vor uns schon an ihm geleuchtet haben, und wir selbst sehn vielleicht noch mehrere derselben glänzen, die vor Jahrtausenden schon verschwunden sind, weil durch diese ganze Zeit das Licht dieser bereits längst erloschenen Himmelskörper noch auf ihrer Reise zur Erde verweilte.

Das Vorhergehende wird genügen, die Zahlen der nun folgenden Tafeln wenigstens einigermaſsen nach ihrem wahren Werthe zu schätzen.

Tafel XV. Durchmesser der Planeten in geogr. Meilen, die Meile zu 22816 Par. Fuſs gezählt.

	Meilen		Meilen
Mercur	672	Ceres	340?
Venus	1694	Pallas	450?
Erde	1720	Jupiter	19307
Mars	893	Saturn	15518
Vesta	50?	Uranus	7472
Juno	300?	Sonne	192740
		Mond	454

Tafel XVI. Excentricität der Planetenbahnen in Theilen des Halbmessers der Erdbahn und in geogr. Meilen.

	In Halbmessern der Erdbahn	In geogr. Meilen
Mercur	0,0796	1645000
Venus	0,0050	103000
Erde	0,01679	347000
Mars	0,1420	2935000
Vesta	0,2092	4324000
Juno	0,6823	14100000
Ceres	0,2125	4391000
Pallas	0,6710	13867000
Jupiter	0,2508	5183000
Saturn	0,5351	11058000
Uranus	0,8939	18473000

Wenn man die Zahlen der Tafel I durch die ersten Zahlen der Tafel VI multiplicirt, so erhält man die ersten Zahlen der Tafel XVI, und diese Producte wieder durch 20666000 multiplicirt geben die zweiten Zahlen der Tafel XVI.

Tafel XVII. Mittlere, gröſste und kleinste Distanz der Planeten von der Sonne in geogr. Meilen.

	mittlere	gröſste	kleinste
Mercur	8000000	9645000	6355000
Venus	16348000	16451000	16245000
Erde	20666000	21013000	20319000
Mars	31489000	34424000	28554000
Vesta	48803000	53127000	44479000
Juno	55168000	69268000	41068000
Ceres	57263000	61654000	52872000
Pallas	57298000	71165000	43431000
Jupiter	107521000	112704000	102338000
Saturn	197129000	208187000	186071000
Uranus	396423000	414896000	377950000

Die Zahlen der Tafel I, durch 20666000 multiplicirt, geben die ersten Zahlen dieser Tafel XVII. Addirt und subtrahirt man dann von diesen Producten die zweiten Zahlen der Tafel XVI, so erhält man die zweiten und dritten Zahlen dieser Tafel.

Tafel XVIII. Entfernungen von der Sonne in Sonnenhalbmessern.

	mittlere	gröſste	kleinste
Mercur	83,7	100,9	66,5
Venus	156,4	157,4	155,3
Erde	216,2	219,8	212,5
Mars	329,4	360,1	298,7
Vesta	510,6	556,0	465,2
Juno	577,2	724,1	430,4
Ceres	598,2	645,2	645,2
Pallas	598,4	745,0	451,9
Jupiter	1124,3	1178,5	1070,1
Saturn	2061,8	2175,0	1948,6
Uranus	4146,8	4340,0	3953,3

Tafel XIX. Entfernungen von der Erde in ganzen Millionen geogr. Meilen.

	In der oberen Conjunction			In der Opposition oder unteren Conjunction		
	mittlere	gröſste	kleinste	mittlere	gröſste	kleinste
Mercur	28	30	26	12	14	10
Venus	34½	35	34	5½	6	5
Mars	50	54	47	10	14	7
Vesta	69	74	64	28	33	23
Juno	75	90	61	34	49	20
Ceres	77	82	72	36	41	31
Pallas	77	92	63	36	51	22
Jupiter	125	130	120	84	90	79
Saturn	212	223	201	172	183	161
Uranus	406	424	388	366	385	348

Um die Zahlen dieser Tafel zu erhalten, werden in der oberen Conjunction die gröſsten und kleinsten Zahlen der Tafel XVII zu der Zahl 20 und 21 addirt, und in der Opposition werden dieselben Zahlen 20 und 21 von denselben gröſsten und kleinsten Zahlen der Tafel XVII subtrahirt.

Tafel XX. Oberflächen der Planeten in geogr. Quadratmeilen.

Mercur	1392000
Venus	9003000
Erde	9282000
Mars	2506000
Vesta	9282
Juno	278000
Ceres	371000
Pallas	650000
Jupiter	1169406000
Saturn	755555000
Uranus	175151000
Sonne	116582000000
Mond	646900

Tafel XXI. Volumen der Planeten in geogr. Kubikmeilen.

Mercur	159544000
Venus	2552707000
Erde	2659073000
Mars	372270000
Vesta	13000
Juno	13295000
Ceres	21273000
Pallas	45204000
Jupiter	3759924980000
Saturn	1954416450000
Uranus	218043740000
Sonne	3741577397000000
Mond	47263000

Tafel XXII. Geschwindigkeiten der Planeten und Fall derselben gegen die Sonne.

	Mittlere Geschwindigkeit in einer Zeitsecunde		Fall gegen die Sonne in einer Zeitsecunde
Mercur	6,7 geogr. Meilen	153000 Par. Fufs	8,46 Par. Linien
Venus	4,9	112000	2,42
Erde	4,1	93544	1,27
Mars	3,4	77000	0,55
Vesta	2,7	62000	0,20
Juno	2,6	59000	0,20
Ceres	2,5	57000	0,20
Pallas	2,5	57000	0,20
Jupiter	1,7	38800	0,047
Saturn	1,3	30000	0,014
Uranus	1,0	22800	0,003

Von den Zahlen dieser Tafel geben die ersten den Weg, welchen jeder Planet mit seiner mittleren Bewegung um die Sonne in einer Zeitsecunde beschreibt, und die zweiten den Weg, um

welchen sich der Bogen seiner Bahn während einer Zeitsecunde im Mittel der Sonne nähert oder von der Tangente dieses Bogens sonnenwärts entfernt.

Tafel XXIII. Lage der Planetenbahnen gegen den Sonnenäquator.

	Rectascension des aufst. Knotens der Bahn auf dem Sonnenäquator	Neigung der Bahn gegen den Sonnenäquator
Mercur	316° 51′	2° 54′
Venus	242 45	4 9
Erde	248 0	7 30
Mars	254 21	5 50
Vesta	180 33	4 28
Juno	197 3	16 28
Ceres	208 43	3 43
Pallas	182 19	37 8
Jupiter	242 5	6 24
Saturn	231 12	5 57
Uranus	247 30	6 44

Tafel XXIV. Masse und Dichtigkeit der Planeten und Schwere auf ihrer Oberfläche.

	Masse	Dichte	Schwere
Mercur	0,17	14,4	17,4 Par. Fufs
Venus	0,88	4,5	13,7
Erde	1,00	4,9	15,098
Mars	0,132	4,8	7,55
Jupiter	336,75	1,2	40,0
Saturn	101,41	0,7	19,4
Uranus	19,81	1,2	15,86
Sonne	354940	1,22	422,8
Mond	0,0114	3,04	2,42

Für die Verhältnisse der Massen ist die Masse der Erde und für die der Dichtigkeiten ist die Dichtigkeit des Wassers als Einheit angenommen worden. Die Schwere ist der Raum,

durch welchen ein Körper auf der Oberfläche des Planeten in der ersten Secunde fällt (vergl. Taf. XIV).

Tafel XXV. Rotation der Planeten.

	Rotation in mittl. Sonnenzeit			Geschwindigkeit des Aequators in einer Secunde
Mercur	1 Tag	0h	5′	504 Par. Fuſs
Venus	0	23	21	1430
Erde	0	23	56,1	1422
Mars	1	0	37,3	798
Jupiter	0	9	55,45	39100
Saturn	0	10	29,3	33500
Uranus	—	—	—	—
Sonne	25	12	0,0	6272
Mond	27	7	43,2	22

Tafel XXVI. Geocentrische Bewegungen der Planeten.

	Gröſste Elongation von der Sonne		Bogen der retrograden Bewegung		Dauer der retrograden Bewegung	Elongation am Anfang und Ende der retrograden Bewegung	
Mercur	17°	50′	8°	33′	20 Tage	14°	20′
	27	42	16	18	24	21	50
Venus	45	24	15	20	41	27	40
	47	18	16	31	43	29	30
Mars	—	—	11	8	62	129	0
			19	30	81	145	30
Jupiter	—	—	10	0	119	115	0
Saturn	—	—	6	48	137	109	10
Uranus	—	—	3	36	151	103	30

Nachdem wir in dem Vorhergehenden eine tabellarische Uebersicht der Hauptplaneten des Sonnensystems gegeben haben, gehn wir nun zu den Nebenplaneten (Satelliten oder Monden) der-

selben über, und betrachten unter diesen zuerst den Satelliten der Erde oder den

Mond.

Bemerken wir zuerst, dafs dieser und alle anderen Satelliten sich ebenfalls in Ellipsen um ihre Hauptplaneten, und zwar so bewegen, dafs der Mittelpunct des Hauptplaneten den einen Brennpunct dieser Ellipse einnimmt. Diese Bewegung der Satelliten um ihren Hauptplaneten ist nach demselben Gesetze, wie die der Hauptplaneten um die Sonne, regulirt, dafs nämlich erstens der Radius Vector des Satelliten in gleichen Zeiten auch gleiche Flächen um den Hauptplaneten beschreibt, und dafs zweitens, wenn mehrere Satelliten sich um denselben Hauptplaneten bewegen, die Quadrate der siderischen Umlaufszeiten sich wie die Würfel der grofsen Axen ihrer Bahnen verhalten.

Die mittlere Entfernung der Mittelpuncte des Monds und der Erde, oder die halbe grofse Axe der elliptischen Mondbahn, beträgt 51830 geogr. Meilen, also nahe 30,25 Durchmesser der Erde oder $\frac{1}{400}$ der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne; die gröfste Entfernung aber beträgt 54670 und die kleinste 48990 Meilen.

Die *Excentricität* der elliptischen Mondbahn beträgt 0,054844 ihrer halben grofsen Axe, also 2842 Meilen.

Der *scheinbare Durchmesser* des Mondes ist:

der mittlere . . .	0°	31′	7″
– gröfste . . .	0	33	31
– kleinste . . .	0	29	22.

Der *wahre Durchmesser* des Mondes ist 0,264 Erddurchmesser oder 454 Meilen, also ist auch die *Oberfläche* des Mondes 0,0697 der Erdoberfläche oder gleich 646900 Quadratmeilen und das *Volumen* des Mondes gleich 0,018 des Erdvolumens oder gleich 47863000 Kubikmeilen.

Die *Masse* des Mondes ist $\frac{1}{87,73}$ der Erdmasse, und die *Dichtigkeit* der Mondmasse ist 0,62 der Dichte der Erdmasse oder 3,04 der Dichte des Wassers.

Die *Schwere* auf der Oberfläche des Mondes ist 0,163 der Schwere auf der Oberfläche der Erde oder die Körper fallen

auf der Oberfläche dieses Satelliten in der ersten Secunde durch 2,46 Fufs.

Der Halbmesser des Erdäquators erscheint von dem Mittelpuncte des Mondes aus unter dem Winkel

$0° \; 57' \; 0'',9$ in der mittl. Entfernung des Mondes von der Erde,
1 1 24,0 in der kleinsten - - - - - -
0 53 48,0 in der gröfsten - - - - - -

Diesen Winkel nennt man die *Horizontalparallaxe* des Mondes am Aequator der Erde.

Die *siderische Revolution* des Mondes beträgt 27,321661 mittlere Sonnentage oder 27 Tage $7^h \; 43' \; 11'',5$; die *tropische* Revolution aber ist 27, 321582 T. oder 27 T. $7^h \; 43' \; 4'',7$; die *synodische* 29, 530589 T. oder 29 T. $12^h \; 44' \; 2'',9$; die *anomalistische* 27, 554600 T. oder 27 T. $13^h \; 18' \; 37'',4$ und endlich die Revolution des Mondes in Beziehung auf die Knoten seiner Bahn in der Ekliptik oder die sogenannte *Drachenrevolution* ist 27, 21222 T. oder 27 T. $5^h \; 5' \; 36''$.

Die synodische Revolution ist die Zeit, die im Mittel zwischen zwei nächsten Vollmonden oder auch zwischen zwei nächsten Neumonden verläuft, also die Umlaufszeit des Mondes in Beziehung auf die Sonne. Die anomalistische Revolution ist die Zeit zwischen zwei nächsten Durchgängen des Mondes durch die grofse Axe seiner Bahn oder sie ist die Zeit zwischen zwei Erdfernen oder endlich auch zwischen zwei Erdnähen des Mondes. Für den 1sten Januar des Jahrs 1801 im mittlern Mittag von Paris ist die mittlere Länge des Mondes gleich $118° \; 17' \; 8'',3$.

Mit Hülfe dieser tropischen Revolution und der für den Anfang des Jahrs 1801 gegebenen Epoche wird man die mittlere Länge des Mondes für jede andere Zeit bestimmen können. Die tägliche mittlere Bewegung des Mondes ist nämlich nach dem Vorhergehenden gleich

$$\frac{360}{27{,}321582} = 13°{,}17640.$$

Um aber dieses wichtige Element mit der gröfsten Schärfe zu erhalten, mufs man die tropische Revolution noch auf mehrere Decimalstellen kennen. Nach den neuesten Bestimmungen beträgt die mittlere tropische Bewegung des Mondes in 100 julianischen Jahren (zu $365\frac{1}{4}$ Tagen) oder 36525 Tagen 1336 ganze Umläufe des Mondes und $307° \; 52' \; 41'',6$, also auch

481267,87822 Grade.

Dividirt man daher die letztere Zahl durch 36525, so erhält man für die genaue tägliche tropische Bewegung des Mondes

13°,176396392,

oder

13° 10′ 35″,0270112.

Man muſs aber bemerken, daſs diese mittlere tägliche Bewegung des Mondes wegen der Veränderlichkeit der Excentricität der Erdbahn[1] ebenfalls etwas weniges veränderlich ist, und daſs sie sich in der gegenwärtigen Zeit in 100 Jahren um nahe 10″,72 vergröſsert. Für dieselbe oben angeführte Epoche (1. Januar 1801) ist die Länge der Erdnähe (Perigeum) der Mondbahn gleich 266° 10′ 7″,5, und die Länge des aufsteigenden Knotens der Mondbahn in der Ekliptik gleich 13° 53′ 17″,7.

Diese beiden Puncte des Himmels sind aber selbst wieder einer bedeutenden Bewegung unterworfen. Die Bewegung der groſsen Axe der Mondbahn in 100 julianischen Jahren beträgt 11 Umläufe und 109° 2′ 46″,6 siderisch von West nach Ost; ihre tägliche Bewegung ist also 6′ 41″,0 und sie vollendet ihren siderischen Umlauf am Himmel in 3232, 57534 T. oder in 8 julian. Jahren 310 T. 13h 48′ 29″. Aber auch ihre Bewegung vermindert sich gegenwärtig in 100 Jahren um 50″,42. Ebenso ist auch die Knotenlinie der Mondbahn beweglich. Sie beschreibt in 100 julian. Jahren 5 Umläufe 134° 9′ 57″,5 siderisch; ihre tägliche Bewegung ist also 3′ 10″,64 von Ost gegen West, und sie vollendet ihren siderischen Umlauf in 6793, 39108 T. oder in 18 julian. Jahren 218 T. 21h 23′ 9″. Endlich vermindert sich die Bewegung dieser Knotenlinie gegenwärtig in 100 Jahren um 6″,56.

Die *Neigung* der Mondbahn gegen die Ekliptik ist 5° 8′ 47″,9. Die Neigung der Mondbahn gegen den Aequator der Erde aber ändert sich sehr stark, von 18° 19′ bis 28° 36′ in 19 Jahren, nämlich um das Doppelte der ersten Neigung von 5° 8′ 47″,9. Die Neigung des Mondäquators gegen die Ekliptik endlich ist 1° 28′ 25″ und diese letztere Neigung ist für alle Zeiten unveränderlich.

Die oben erwähnte Bewegung der Knoten der Mondbahn auf der Ekliptik, so wie die Neigung der Mondbahn gegen die

---

1 Vergl. Art. *Mond.* Bd. VI. S. 2368.

Ekliptik, die im Mittel $5^\circ\ 8'\ 47'',9 = 5^\circ,1466$ beträgt, sind, aufser den erwähnten säculären, auch noch *periodischen* Aenderungen unterworfen, die von der Lage der Sonne und des Mondes selbst gegen diese Knoten abhängen. Nennt man ☉ die Länge der Sonne, ☾ die Länge des Mondes und ☊ die nach dem Vorhergehenden für jede Zeit bestimmte Länge des Knotens der Mondbahn, so ist die wahre Länge ☊′ dieses Knotens

$$☊' = ☊ + 1^\circ,51\ \text{Sin.}\,2\,(☉ - ☊) + 0^\circ,12\ \text{Sin.}\,2\,(☾ - ☊) - 0^\circ,11\ \text{Sin.}\,2\,(☾ - ☉)$$

und die wahre Neigung N der Mondbahn gegen die Ekliptik

$$N = 5^\circ,1466 + 0^\circ,15\ \text{Cos.}\,2\,(☉ - ☊) + 0^\circ,01\ \text{Cos.}\,2\,(☾ - ☊) - 0^\circ,01\ \text{Cos.}\,2\,(☾ - ☉).$$

Nach der schönen Entdeckung des Dom. Cassini wird die wahre Lage des Mondäquators für jede Zeit auf folgende Art bestimmt. Wenn man durch den Mittelpunct des Mondes eine Ebene senkrecht auf seine Rotationsaxe legt (welche Ebene also der Mondäquator seyn wird), und wenn man ferner durch denselben Mittelpunct eine zweite Ebene parallel mit der Ekliptik und endlich eine dritte (die Mondbahn selbst) legt, so haben diese drei Ebenen, wenn man von den drei so eben angeführten periodischen Ungleichheiten ☊′ — ☊ und N — $5^\circ,1466$ abstrahirt, beständig *dieselbe Durchschnittslinie.* Die zweite der genannten Ebenen, die zwischen die beiden andern gelegt werden soll, bildet mit der ersten den Winkel $1^\circ\ 28'\ 25''$ und mit der dritten den Winkel $5^\circ\ 8'\ 47'',9$; der absteigende Knoten des Mondäquators mit der Ekliptik fällt immer mit dem mittleren aufsteigenden Knoten der Mondbahn in der Ekliptik zusammen, und jene haben, so wie diese, eine retrograde Bewegung und eine siderische Umlaufszeit von 6793,39108 Tagen. In dieser Zwischenzeit (von nahe 18 julian. Jahren und 219 Tagen) beschreiben der Pol des Mondäquators und der Pol der Mondbahn kleine, der Ekliptik parallele Kreise, die den Pol der Ekliptik einschliefsen, sodafs diese drei Pole immerwährend auf einem gröfsten Kreise des Himmels sich befinden.

Die Umdrehungszeit des Mondes um seine Axe ist genau der mittleren Umlaufszeit des Mondes um die Erde gleich, also auch gleich 27 T. $7^h\ 43'\ 11'',5$. Aus dieser Ursache kehrt uns der Mond auch immer dieselbe Seite zu, und die uns abge-

wendete bleibt für uns, bis auf die *Librationen*[1], immer verborgen. Aus demselben Grunde ist also auch die von uns abgewendete Seite des Mondes unserer Erde stets unsichtbar.

Der Mond erleidet von der Sonne sehr grofse periodische Störungen. Die vorzüglichsten Störungen der Länge sind:

1) Die *Evection.* Sie kann durch eine Verminderung der Excentricität der Mondbahn in den Syzygien (den Neu- und Vollmonden) und durch eine Vergröfserung derselben in den Quadraturen vorgestellt werden. Diese Ungleichheit kann bis auf 1° 16′ 28″ gehn.

2) Die *Variation* beträgt nahe 40 Minuten und hat ihren gröfsten Werth in den Octanten, verschwindet dafür in den Syzygien und Quadraturen.

3) Die *jährliche Gleichung* geht bis 11,2 Min. und ihre Periode ist dem Erdenjahre gleich.

Monde Jupiters.

Jupiter ist von *vier* Monden umgeben, deren siderische Umlaufszeiten und mittlere Entfernungen von Jupiter sind:

	Sid. Umlaufszeit			Entfernung von Jupiter
I Satellit	1 Tag	18^h	28′	6,049 Halbmesser Jupiters
II	3	13	14	9,623
III	7	3	43	15,350
IV	16	16	32	26,998.

Wenn Jupiter in seiner mittleren Entfernung von der Erde ist, so erscheinen uns die Durchmesser dieser Monde unter folgenden Winkeln:

	Mittlere scheinbare Durchmesser dieser Monde
I . . .	1″,015
II . . .	0,911
III. . .	1,488
IV . . .	1,273.

Daraus folgen die vom Jupiter aus gesehenen scheinbaren Durchmesser derselben:

---

1 Vergl. Art. *Mond.* Bd. VI. S. 2387.

I	. . .	0°	31′	11″
II	. . .	0	17	35
III	. . .	0	18	0
IV	. . .	0	8	46,

und endlich die wahren Durchmesser derselben

I	. . .	530	geogr. Meilen
II	. . .	470	— —
III	. . .	780	— —
IV	. . .	660	— —.

Ebenso folgt aus dem Vorhergehenden, dafs die mittleren Entfernungen derselben von dem Mittelpuncte Jupiters oder dafs die halben grofsen Axen ihrer Bahnen sind

I	. . .	58000	Meilen
II	. . .	93000	—
III	. . .	148000	—
IV	. . .	260000	—.

Auch die Massen dieser Monde hat man zu bestimmen gesucht. Man fand für dieselben:

Masse des	I	. . .	0,0000173	der Jupitersmasse
	II	. . .	0,0000232	—
	III	. . .	0,0000885	—
	IV	. . .	0,0000427	—.

Diese Monde sind also alle gröfser als der Erdmond, besonders die beiden äufsersten. Vom Jupiter gesehn erscheint der erste nahe so grofs, wie uns unser Mond, der zweite und dritte aber nur nahe halb und der vierte nur den vierten Theil (im Durchmesser) so grofs, als uns der Mond[1].

Monde Saturns.

Wegen der grofsen Entfernung Saturns erscheinen uns die sieben Monde desselben sehr klein, und sind uns deshalb auch noch weniger bekannt, als die Monde Jupiters. Der äufserste oder siebente ist der gröfste von allen und wahrscheinlich nicht viel kleiner als Mars. Seine Bahn ist merklich gegen die Ebene des Ringes geneigt, welcher den Saturn umgiebt, während die Bahnen der anderen sechs sehr nahe in dieser Ringebene liegen.

---

1 Vergl. Art. *Nebenplaneten*. Bd. VII. S. 64.

Der sechste Satellit steht jenen auch an Gröfse nach; die drei folgenden sind schon viel kleiner, und die zwei innersten sind so klein, dafs sie nur durch die besten Fernröhre und auch da nur unter den günstigsten Umständen gesehn werden können. Die siderischen Umlaufszeiten und mittleren Entfernungen dieser Monde von dem Mittelpuncte Saturns sind:

	sider. Umlaufszeit	mittleren Entfernungen
I ...	0 Tag 22h 36′ 18″	2,468 Halbmesser Saturns
II ...	1 8 53 3	3,208
III ...	1 21 18 0	5,284
IV ...	2 17 45 0	6,819
V ...	4 12 25 0	9,524
VI ...	15 22 41 25	20,706
VII ...	79 7 55 0	64,359.

Daraus und aus Taf. XV folgen die halben grofsen Axen der Bahnen dieser Satelliten oder die

	mittleren Entfernungen
I ...	19170 Meilen
II ...	24910 —
III ...	40970 —
IV ...	52920 —
V ...	73870 —
VI ...	160710 —
VII ...	499430 —.

Die Bahnen des 3., 4., 5. und 7. Satelliten sind übrigens nur sehr unvollkommen bekannt, besser aber die des 1., 2. und am besten die des 6. Satelliten[1].

Monde des Uranus.

Der ältere Herschel glaubte sechs Satelliten des Uranus gesehn zu haben. Den 2ten und 4ten derselben, nach ihrer Distanz vom Hauptplaneten gezählt, hat der jüngere Herschel wieder gesehn, nicht so die vier anderen. Sie sollen das Eigenthümliche haben, dafs ihre Bahnen unter dem Winkel von 78° 58′ gegen die Ekliptik geneigt sind und dafs sie in diesen Bahnen nicht von West gen Ost, wie alle andere Haupt-

1 Vergl. Art. *Nebenplaneten* a. a. O. S. 74 und *Saturn* Bd. VIII. S. 163.

und Nebenplaneten unseres Systems, sondern dafs sie sich rückwärts, von Ost gen West, bewegen. Ihre siderischen Umlaufszeiten und mittleren Entfernungen vom Uranus werden wie folgt angegeben[1]:

	sider. Revolution			mittl. Entfernung					
I ..	5 T.	21[h]	25″	13,12	Halbm. d. Uranus	oder		49000	Meilen
II ..	8	16	56	17,02	—	—	—	63600	—
III ..	10	23	4	19,84	—	—	—	74200	—
IV ..	13	11	9	22,75	—	—	—	85100	—
V ..	38	1	48	45,51	—	—	—	170200	—
VI ..	107	16	40	91,01	—	—	—	340400	—

Kometen.

Diese Himmelskörper unterscheiden sich von den Planeten durch ihre meistens schwach begrenzte, gewöhnlich in einen Schweif auslaufende Gestalt, ferner durch die grofse Excentricität und die ebenfalls sehr grofsen Neigungen ihrer elliptischen Bahnen, in welchen sie ebenfalls und nach denselben Gesetzen, wie die Planeten, um die Sonne laufen. Von den bisher gesehenen Kometen sind fast 150 berechnet worden. Allein da ihre sehr excentrischen Bahnen in der Nähe des Perihels, wo wir sie allein noch sehn können, sehr nahe mit einer Parabel zusammenfallen, und da es unmöglich ist, aus einem so kleinen Stücke ihrer Bahn die grofse Axe derselben durch Rechnung mit Genauigkeit zu bestimmen, so hat man die Berechnung derselben in der viel einfacheren parabolischen Hypothese vorgezogen. Nur vier von diesen Himmelskörpern, deren Bahn auch in der Nähe des Perihels noch von einer Parabel merklich abweicht, konnte man auch in Beziehung auf ihre grofse Axe, d. h. auf ihre Umlaufszeit bestimmen. Ohne Zweifel ist aber die Zahl der letztern noch beträchtlich gröfser und die der Kometen überhaupt wahrscheinlich sehr grofs. Wir verweisen auf das bereits hierüber Gesagte[2], und beschränken uns hier auf die nähere Angabe der vier erwähnten genauer be-

1 Vergl. Art. *Nebenplaneten* a. a. O. S. 74 und *Uranus*. Bd. IX. S. 1572.

2 S. Art. *Komet*. Bd. V. S. 917.

kannten Kometen. Diese sind: Halley's Komet von 76 Jahren, Encke's von 3,3, Biela's von 6,7 und endlich Olbers' Komet von nahe 74 Jahren Umlaufszeit.

Von Halley's berühmtem Kometen hat man bereits 17 Erscheinungen aufgezählt, von welchen aber die 11 ersten höchst problematisch sind. Die erste Erscheinung dieses Kometen soll im J. 130 vor Chr. G. zur Zeit des Mithridates statt gefunden haben; die zweite im J. 323 nach Chr. Geb. zur Zeit des Conciliums zu Nicäa; die dritte im J. 399, zugleich mit dem ersten Auftreten der Vandalen im südlichen Europa, mit denen man den Kometen in Verbindung zu bringen wufste. Die gleichzeitigen, meistens kirchlichen Geschichtschreiber des 4ten Jahrhunderts nennen ihn einen *Cometam prodigiosae magnitudinis, horribilem aspectu et comam ad terram usque demittentem.* Die vierte Erscheinung desselben soll auf das Jahr 547 fallen, wo Rom von Totilas geplündert wurde. Die fünfte fiel auf das Jahr 930; die sechste auf 1005; die siebente auf 1080; die achte auf 1155; die neunte auf 1231 und die zehnte auf das Jahr 1305. Diese letzte Erscheinung soll allgemein Schrecken in Europa verbreitet haben. Der Komet dieses Jahres wird als ungeheuer grofs beschrieben, und ihm folgte unmittelbar eine verheerende Pest, welche unsern Welttheil sieben Jahre hindurch mit Leichen bedeckte. Die 11te dieser apokryphischen Erscheinungen endlich soll in das Jahr 1380 gefallen seyn. Alle die erwähnten Jahre passen allerdings in die oben erwähnte Periode von 76 Jahren, aber da es an allen eigentlichen Beobachtungen aus jenen Zeiten fehlt und da die Kometen zuweilen sehr häufig erscheinen, so ist die Identität des Halley'schen Kometen für jene Epochen nichts weniger als constatirt.

Wir gehn daher sofort zu den späteren, aber gewissen Erscheinungen dieses Kometen über. Die erste derselben ist die vom Jahre 1456, wo er, nach den Zeugnissen gleichzeitiger Schriftsteller, in den Sternbildern zwischen dem Stier und dem Löwen mit ungemeiner Pracht erschien. Sein Schweif hatte eine Länge von 60 Graden und derselbe breitete sich gegen sein Ende fächerartig aus. In der That stand er auch damals, wie spätere Rechnungen bestätigten, der Sonne und der Erde sehr nahe und daher in für seine Sichtbarkeit von der Erde sehr günstigen Verhältnissen. Uebrigens war zu derselben Zeit Europa im hohen Grade aufgeregt durch Sultan Mahomed II., der fünf

Jahre früher Constantinopel erobert, dadurch dem griechischen Kaiserthume ein Ende gemacht hatte und nun drohte, mit seinen siegreichen Schaaren die Nachbarn zu überfallen. Die zweite verläfsliche Erscheinung fällt in das Jahr 1531. Der berühmte kais. Astronom Apianus (Biennewitz) beobachtete ihn zu Ingolstadt, und dieses sind überhaupt die eigentlich ersten wissenschaftlichen Beobachtungen, die wir von Kometen erhalten haben. Zum dritten Male erschien der Halley'sche Komet im J. 1607, wo er gegen das Ende Octobers seine Sonnennähe erreichte; dieses war die Zeit, wo Elisabeth in England und Heinrich IV. in Frankreich regierten und wo Kepler das Gesetzbuch des Himmels entdeckte. Die besten Beobachtungen dieser Erscheinung sind von Kepler selbst, von Longomontan, Tycho, Harriot und Torporley. Die vierte Erscheinung fällt auf das Jahr 1682, und jetzt wurde er erst von Halley, Newton's Zeitgenossen, wissenschaftlich berechnet und dadurch erkannt, dafs dieser Himmelskörper nach Kepler's Gesetzen eine elliptische Bahn um die Sonne beschreibe. Halley bestimmte die Elemente dieser Bahn, so wie er auch die Identität dieses Kometen mit jenen von 1607 und 1531 nicht nur erkannte, sondern auch constatirte, ja sogar die Wiederkunft desselben für das Jahr 1758 vorherverkündigte. Diese fünfte Erscheinung fand auch in der That nur wenige Monate später statt, da der Komet am 12. März 1759 durch seine Sonnennähe ging und in diesem Jahre von allen Astronomen Europa's beobachtet wurde. Zum sechsten Male endlich erschien er im J. 1835, wo ihn unsere Leser wahrscheinlich alle gesehn haben, daher wir uns nicht länger dabei aufhalten[1].

Der *zweite* von den Kometen, deren Umlaufszeit bekannt ist, wurde von dem berühmten Kometensucher Pons in Marseille am 26. Nov. 1818 entdeckt und von Encke, der ihn einer genauern Berechnung unterwarf, als ein Komet von 3 Jahren und 115 Tagen Umlaufszeit erkannt. Er wurde schon früher dreimal, in den Jahren 1786, 1795 und 1805, gesehn und beobachtet, ohne dafs man ihn als einen Kometen von so kurzer Umlaufszeit erkannte. Dieser Komet erschien wieder

---

1 S. Beiträge zu einer Monographie des Halley'schen Kometen, von C. L. Littrow. Wien 1834.

gegen Ende des Jahrs 1838, und zwar in einer für seine Sichtbarkeit sehr vortheilhaften Stellung.

Der *dritte* jener Kometen ist derjenige, den Biela am 28. Februar 1826 entdeckt und dessen Umlaufszeit er erkannt hat. Er hat das Eigenthümliche, dafs er der Erde in ihrer Bahn nicht nur, sondern auch selbst dem Encke'schen Kometen einmal sehr nahe kommen kann, da seine Bahn so gelegen ist, dafs sie der Erdbahn sowohl, als auch der Bahn dieses Kometen nahe vorbeigeht. Die säculären Aenderungen, welche diese beiden Kometenbahnen durch andere Planeten erleiden, können dieses Nahestehn der Bahnen in der Folge der Zeiten in ein Durchschneiden derselben verwandeln, und wenn es sich einmal ereignen sollte, dafs dieser Komet zugleich mit einem der beiden andern Himmelskörper durch diesen Durchschnittspunct der beiden Bahnen ginge, so würde ein Conflict dieser Körper erfolgen, der auch wohl eine Zerstörung derselben herbeiführen könnte.

Der *vierte* jener Kometen endlich ist der, den Olbers am 6ten März 1815 entdeckte. Nach den Berechnungen soll seine Umlaufszeit 75 Jahre betragen, so dafs wir also gegen das Jahr 1887 uns seines Wiederbesuchs zu erfreuen hätten. Da er nur klein und unansehnlich ist, so ist es erklärlich, warum man ihn in frühern Zeiten nicht bemerkt hat.

Znm Schlusse theilen wir hier noch die Elemente dieser vier Kometen mit.

	Halley	Encke	Biela	Olbers
Zeit des Perihels	1759 März 12,59 m. Z. Paris.	1819 Januar 27,252	1826 März 18,222	1815 April 25,999
Länge des Perihels	303°,167	157°,098	107°,925	149°,032
aufst. Knoten	53°,836	334°,727	248°,700	83°,476
Neigung	17°,620	13°,645	13°,210	44°,499
halbe grofse Axe	18°,011	2°,213	3°,567	17°,634
Excentricität	0,967	0,849	0,741	0,931
Umlaufszeit	76 Jahre	3,292 Jahre	6,74 Jahre	74 Jahre
Bewegung	retrograd	direct	direct	direct

L.

Wetterleuchten.

Fulguratio; Éclair sans tonnerre, Éclair de Chaleur; *Lightning, Lightning without Thunder, Coruscations of Light.*

Hierdurch bezeichnet man ein am Himmel sich zeigendes, meistens von Wolken ausgehendes, elektrisches Leuchten, wobei es häufig ungewiſs bleibt, ob es von entfernten Blitzen herrührt, deren Donner nicht gehört wird, oder ein für sich bestehendes Phänomen ist. Fände der erstere Fall statt und wäre das sogenannte Wetterleuchten nichts anders, als das Sichtbarwerden sehr entfernter Blitze, so könnte dem Phänomene keine besondere Untersuchung gewidmet werden, sondern dasselbe gehörte unter den bereits mitgetheilten Artikel *Blitz;* es sind aber genügende Gründe vorhanden, ein für sich bestehendes Phänomen anzunehmen, welches wir zu zeigen und dann das Wesen desselben näher zu erläutern uns bemühn werden.

Da man den Donner sehr weit entfernter Blitze nicht hört, wohl aber den Lichtschein derselben, auch ohne vorhandene Wolken, oft am völlig klaren Himmel, hauptsächlich in dunkeln Nächten, sehr deutlich wahrnimmt, so läſst sich nicht allezeit bestimmt angeben, ob das wahrgenommene Phänomen ein Blitz oder bloſses Wetterleuchten sey; es giebt aber eine Menge Thatsachen, welche unwidersprechlich darthun, daſs das letztere auch für sich als selbstständiges Phänomen statt finde. Schon die Griechen und Römer erwähnen die Beobachtungen von Blitzen ohne Donner, allein da diese nach ihrer Ansicht zu den Prodigien gehören, aus den Erzählungen auch hervorgeht, daſs sie am Tage gesehn wurden, wo das Wetterleuchten nicht wohl wahrgenommen wird, so können sie hier überall nicht berücksichtigt werden. Bei den so oft im Horizonte gesehenen Lichterscheinungen bleibt es immer zweifelhaft, ob sie nicht von entfernten Blitzen herrühren, das eigentliche Wetterleuchten dagegen besteht aus einem über dem Horizonte zum Vorschein kommenden bald helleren bald schwächeren Lichtscheine, der sich nicht eigentlich in die Länge zieht, sondern

mehr in die Breite, keinen Strahl enthält und kein Getöse erregt. Kämtz[1] hat sich die Mühe gegeben, bei einer Beobachtung des Wetterleuchtens genau nachzuforschen, ob wirklich zu jener Zeit im Bereiche des Sichtbarwerdens kein Gewitter statt fand. Schübler[2] erzählt nämlich, daſs man am 26sten Aug. 1825 in mehreren Gegenden Würtembergs Abends zwischen 9 und 11 Uhr bei völlig klarem Himmel Blitze gesehn habe, während kein Beobachter auf einer Strecke von etwa 400 Quadratmeilen ein Gewitter bemerkte, auch die Atmosphäre zu dessen Bildung nicht geneigt schien. Auch an den folgenden Tagen bemerkte man in mehreren Gegenden bei Nacht Blitze, während der Himmel gröſstentheils heiter war; doch zogen an diesem Tage durch einige Gegenden Würtembergs einzelne Gewitter. Hierzu berichtete Mohr aus Coblenz, daſs über die ganze Gebirgsgegend Wetterleuchten gesehn wurde, und Brandes aus Salzuffeln, daſs sich Abends 6 Uhr am nordwestlichen Himmel Gewitterwolken zeigten und man des Nachts Wetterleuchten sah. Hiernach fehlt also zwar an jenem Tage jede Nachricht von einem vorhandenen Gewitter, wie Kämtz bemerkt, allein zwischen Würtemberg und Lippe-Detmold wurde nicht beobachtet, und über diese Strecke fehlen also die Nachrichten[3].

Gewiſs ist wohl, daſs man beim Wetterleuchten oder wenn sich *das Wetter abkühlt*, wie man dieses zu bezeichnen pflegt, d. h. wenn bei vorhandenem heiterem Himmel, oder mindestens bei der Abwesenheit eigentlicher Gewitterwolken, sich helle Lichtscheine am Himmel zeigen, nie mit völliger Gewiſsheit sagen kann, dieses rühre nicht von entfernten Gewittern her, es sey denn, daſs man, wie im erwähnten Falle geschehn zu seyn scheint, über eine hinlänglich weite Strecke die Ueberzeugung von der Abwesenheit eigentlicher Gewitter erhalten habe. Handelt es sich aber um die Feststellung der Thatsache, ob es ein eigentliches Wetterleuchten gebe und von welcher eigenthümlichen Beschaffenheit dasselbe sey, so hege ich hier-

1 Meteorologie. Th. II. S. 481.

2 Schweigger's Journ. Th. XLI. S. 39.

3 Heidelberg darf hierbei füglich als Zwischenstation dienen, und ich kann daher ergänzend bemerken, daſs hier den ganzen Tag und auch am 27ten Morgens völlig wolkenfreier Himmel war.

über aus eigener Erfahrung die vollständigste Gewifsheit. Im Jahre 1805 sah ich an einem warmen Sommerabende bei übrigens ganz wolkenfreiem Himmel in einer Höhe von etwa 45° bis 50° eine etwas länglich gestreckte dünne Wolke, in welcher sich unregelmäfsig wiederkehrend Lichtscheine zeigten, denen völlig gleichend, welche man an leuchtenden Barometern oder in den Franklin'schen Röhren wahrnimmt, mit der alleinigen Ausnahme, dafs das Licht keinen grünlichen Schein hatte, wie bei jenen häufig der Fall ist, sondern weifs und nur wenig ins Röthliche schimmernd war. Eine solche eigenthümliche abwechselnde Erhaltung habe ich seitdem nie wieder gesehn, einige Male dagegen ein eigentlicheres und zugleich schnelleres Aufblitzen in ähnlichen Wolken, jedoch ganz ohne eigentlichen Blitzstrahl, und ich trage kein Bedenken, auch dieses Phänomen unter die Classe des Wetterleuchtens zu rechnen, sobald man die ringsum vom heiteren Himmel umgebenen Wolken deutlich unterscheiden kann und dadurch zu der Ueberzeugung gelangt, dafs das Licht nicht etwa der Widerschein entfernter Blitze sey. In sehr vielen Fällen sieht man jedoch wirklich, wenn man das Wetterleuchten wahrnimmt, nicht etwa die entfernten Blitze selbst, sondern nur deren Widerschein am übrigens völlig heiteren und wolkenfreien Himmel. Unter Andern berichtet Bergmann[1], dafs er diese genannte Erscheinung oft wahrgenommen habe, worauf es ihm aber einmal gelang, die blitzende Wolke von einem Berge aus zu entdecken.

Bei weitem in den meisten Fällen wird also das, was man Wetterleuchten nennt, das Erzeugnifs entfernter Blitze seyn, und nur in wenigen das eigenthümliche, näher bezeichnete Phänomen. Will man dem, was durch den Namen stille Blitze, also dem Blitze ähnliche elektrische Entladungen ohne Donner, bezeichnet wird, gleichfalls diesen Namen beilegen, so zeigen sich diese Phänomene in einigen heifsen Gegenden häufiger, als unter mittleren und höheren Breiten. So erzählt Bladh[2] von den niedrigen Küsten der Insel Sumatra, dafs sich daselbst fast jede Nacht von der Abenddämmerung bis zum Morgen ununterbrochene stille Blitze zeigen. Auf gleiche Weise sah v. Hum-

1 Physikal. Beschreib. d. Erdkugel. Th. II. S. 76.

2 Neue Schwed. Abhandl. Deutsche Ueb. 1780. Th. I. S. 97.

boldt[1] bei seiner Reise auf dem Orinoco den Himmel einige Zeit vor Sonnenaufgang gröſstentheils bewölkt, und bemerkte dabei in mehr als 40° Höhe viele Blitze, ohne Donner zu hören, obgleich dieser in jenen stillen Gegenden so leicht wahrnehmbar seyn muſste.

Man betrachtet allgemein das Wetterleuchten, was dem gewöhnlichen Sprachgebrauche nach oft gesehn wird, als eine durchaus so bekannte Sache, daſs die Beobachter sich nur selten, wenn nicht zufällig dazu vermocht, die Mühe geben, zu untersuchen, ob es von entfernten Blitzen herrührt, oder eine für sich bestehende Erscheinung ist; inzwischen giebt es doch, auſser den bereits angegebenen, einige absichtlich deswegen angestellte Untersuchungen. Lampadius[2] leitet das Wetterleuchten ohne Ausnahme von entfernten Gewittern her, dennoch kann das, was er selbst zu Teplitz wahrnahm, wenigstens zum Theil eigentliches Wetterleuchten gewesen seyn, wenn gleich aus den beigefügten Bemerkungen Gilbert's hervorgeht, daſs in weiterer Entfernung Gewitter statt fanden, die ohne Zweifel den gröſsten Theil der Lichtscheine erzeugt haben; denn es hat in der That nichts Widersprechendes, daſs zu einer Zeit, wo die Atmosphäre überhaupt mit Elektricität überladen ist, auch an denjenigen Stellen, wo keine eigentliche Gewitter vorhanden sind und keine Blitze zum Ausbruche kommen, Ausgleichungen der Elektricität mit einem Lichtscheine sich zeigen. Dagegen ist Ideler[3] der Meinung, daſs die Ausgleichung der Luftelektricität sich ohne eigentliche Blitze auf verschiedene Weise durch bloſses Leuchten kund gebe, und diese Erscheinungen müssen wir doch als eigenthümliche durch einen besondern Namen bezeichnen, wozu sich der übliche, nämlich *Wetterleuchten*, am besten eignet. Hierbei bezieht er sich auf diejenigen Lichtphänomene, welche Huth[4] am Abend des 31. März 1804 zu Charkow beobachtete. Im Allgemeinen war der Himmel schnell wechselnd und wahrhaft proteusartig sich verändernd, bald dicht verschleiert, bald ganz heiter, bald wieder mit dünneren und dichteren Wolken bedeckt. Zwischen

1 Voyage. T. VII. p. 9. Kämtz Meteor. Th. II. S. 481.
2 G. LXXIV. 432.
3 Poggendorff's Ann. XVII. 440.
4 G. XXX. 238.

diesen zeigte sich bald ein milchiger Ueberzug, bald ein mehr oder minder hell glänzendes, zuweilen streifiges Leuchten, und da man dabei zugleich ein spinnenwebenartiges Gefühl auf der Haut wahrnahm, das Elektrometer aber durch Anschlagen der Blättchen Spuren starker Luftelektricität angab, so kann man nicht wohl umhin, dieses Leuchten für ein elektrisches zu halten. Ferner beruft er sich auf eine Angabe HUMBOLDT's[1], welcher dieses Leuchten auch im Zenith bei Wolken wahrnahm, die keine bedeutende Höhe hatten.

Sehr belehrend äufsert sich BRANDES[2] hierüber, wenn er sagt: „Das eigentliche Wetterleuchten, wo man sagt, die Luft „kühlt sich, habe ich oft bei ganz heiterm Himmel gesehn, „wo die Luft mir gar nicht so aussah, als ob in 20 Meilen „Entfernung ein Gewitter seyn könne. Was mich in dieser „Meinung, das Wetterleuchten entstehe bei heiterem Himmel, „bestärkt, ist eine Lichterscheinung hoch über dem Horizonte, „die ich für ein solches Wetterleuchten in meiner Nähe zu „halten geneigt war. Bei meinen im August 1817 angestellten „Beobachtungen von Sternschnuppen nämlich, an einem schö„nen sternhellen Abende, bei einem Wetter, wo man wohl „Wetterleuchten zu erwarten pflegt, sah ich hoch am Himmel „ein plötzliches, nur einen Augenblick dauerndes Licht, das „fast an derselben Stelle erlosch, wo es entstanden war. Die„ser schnelle Blitz aus heiterm Himmel konnte in gröfserer „Entfernung gar wohl als Wetterleuchten erscheinen. Aehnli„che Lichterscheinungen habe ich auch sonst wohl gesehn, und „da sie sich von andern Sternschnuppen dadurch unterscheiden, „dafs sie mehr einer grofsen, schnell erlöschenden Flamme „(obgleich auch das nicht die rechte Bezeichnung ist) gleichen[3], „statt dafs andere Sternschnuppen als Funken oder als fortzie„hende kleine Kugeln erscheinen, so ist die Vermuthung, dafs „sie eine eigenthümliche Beschaffenheit haben, wenigstens nicht „ohne allen Grund. Dafs man sie so selten über sich, und das

1 Voyages aux Rég. éq. T. VII. p. 9.

2 Beiträge zur Witterungslehre. Leipz. 1820. S. 354.

3 BRANDES bemerkt, dafs auch BERGMANN mehrere Erscheinungen dieser Art beobachtet habe, unter denen die am 12ten Januar 1760 zu Upsala, Wasa und Stockholm gesehene, deren Höhe er auf drei Meilen über der Erde schätzte, am meisten Aehnlichkeit hiermit hatte. S. Schwed. Abh. 1760.

„Wetterleuchten am Horizonte so oft sieht, ist eben nicht un- „begreiflich, da alle in geringerer Höhe als 5 Grade erschei- „nenden Lichtphänomene, wenn sie 5000 Fuſs hoch über der „Erde entstehn, auf einem 18 Meilen breiten Ringe um uns „herum im Zenith stehn können. Dieser Ring, dessen innerer „Halbmesser 2,5 Meilen, der äuſsere 20 Meilen ist, hat unge- „fähr 1200 Quadratmeilen Flächeninhalt, statt daſs der innere „Kreis etwa 20 Quadratmeilen enthält. Man kann also 60 „Blitze auf 0 bis 5 Grad Höhe sehn, ehe man einen dem „Zenith näher zu sehn bekommt." Kämtz[1] entnimmt aus dieser Beschreibung, daſs Brandes das Wetterleuchten nicht für entfernte Blitze, sondern für eine den Sternschnuppen ähnliche Erscheinung gehalten habe; allein ich finde dieses in der Erzählung nicht, da das Phänomen ein schneller Blitz aus heiterem Himmel genannt wird, und auſserdem der Ausdruck: *das Wetter kühlt sich ab*, ein bekannter und sehr bezeichnender ist. Bemerkt werden muſs hierbei indeſs, daſs Brandes diese Erscheinung von einer andern unterscheidet, wenn Blitze ohne allen Donner sich zeigen. Auch hierüber machte er eine auffallende Beobachtung im Jahre 1803 an einer gar nicht groſsen Wolke, die etwa 6 bis 10 Grad hoch stehn mochte; sie blitzte fast unaufhörlich, ohne daſs der Donner gehört wurde, schien aber nicht so entfernt zu seyn, daſs der Donner deswegen an dem stillen Abende unbemerkt bleiben konnte.

Die Ursache des Wetterleuchtens und die Erklärung desselben kann wohl nicht zweifelhaft seyn. Zuvörderst wäre dieses allerdings am wenigsten dann der Fall, wenn es von entfernten Blitzen herrührt, allein obgleich man auch diese Phänomene durch den Ausdruck Wetterleuchten bezeichnet, so müssen wir sie doch hier ausschlieſsen. Es kann demnach nur von denjenigen Lichterscheinungen die Rede seyn, bei denen keine Blitze statt finden, allein auch diese müssen wir gleichfalls aus überwiegenden Gründen für elektrische Entladungen halten. Hierfür entscheidet schon ihre groſse Aehnlichkeit und nahe Verbindung mit den Blitzen, die ohne eigentliche, mit einem Donner verbundene Entladung nicht zur Erde gelangen, wohl aber aus einer Wolke in eine ihr sehr nahe geräuschlos übergehn. Wollen wir überhaupt unter Wetter-

1 Meteorologie. Th. II. S. 483.

leuchten, dem herrschenden Sprachgebrauche gemäſs, diejenigen Blitze verstehn, bei denen kein Donner gehört wird, so würde die Erklärung dieser Phänomene mit der des Blitzes zusammenfallen und keine abgesonderte Untersuchung erfordern; allein einestheils würde hiermit keine genau wissenschaftliche Begriffsbestimmung vereinbar seyn, da sich nie mit Bestimmtheit angeben läſst, ob wirklich kein Donner vorhanden gewesen oder derselbe bloſs überhört worden sey, anderntheils aber müſsten zur Classe der Blitze auch die bloſsen Lichtschimmer gehören, die sich wesentlich hiervon unterscheiden. Bezeichnen wir daher durch Wetterleuchten bloſs diejenigen Lichterscheinungen, die mit gleicher Schnelligkeit, als die Blitze, und diesen sehr ähnlich, jedoch ohne einen eigentlichen Strahl zu bilden, zum Vorschein kommen und wieder verschwinden, so unterliegt es dennoch kaum irgend einem gewichtigen Zweifel, sie für elektrisch zu halten, indem kein einziges bedeutendes Argument dieser Hypothese entgegensteht, die Beschaffenheit derselben aber im Ganzen dafür entscheidet. Aus allen oben angegebenen Thatsachen geht hervor, daſs das Wetterleuchten allgemein nur dann erwartet wird und sich wirklich zeigt, wenn die Disposition der Atmosphäre sehr elektrisch und zur Entstehung der Gewitter sehr geneigt ist; die Beobachtungen von Huth aber können füglich als direct für diese Hypothese beweisend gelten. Es bleibt somit nur eine nähere Bezeichnung der Eigenthümlichkeit dieser elektrischen Entladungen übrig, die wir durch den Ausdruck Wetterleuchten zu bezeichnen pflegen.

Den ersten Versuch einer Erklärung dieser Phänomene müssen wir wohl auf Miles[1] zurückführen, welcher das elektrische Leuchten geriebener Glasröhren damit verglich. Watson[2] sah eben dieses Leuchten in Röhren mit verdünnter Luft und verglich dasselbe sowohl mit dem Wetterleuchten, als auch mit dem Nordlichte. Am ausführlichsten und deutlichsten äuſsert sich Musschenbroek[3] sowohl über das Phänomen, als auch über dessen Ursache. Wenn dichtere oder dünnere Wolken, mit ungleichen Mengen von Elektricität erfüllt, einander begegnen, so strömt die Elektricität von der stärker geladenen

1 Philos. Trans. 1745. T. XLIV. N. 475. p. 290.
2 Ebendaselbst. T. XLVII. p. 367.
3 Introd. ad Phil. Nat. §. 2530. T. II. p. 1075.

in die andere über, bis das Gleichgewicht zwischen beiden hergestellt worden ist. Diese Ausgleichung geschieht durch kräuselnde Flammen, wie wir solche wahrnehmen, wenn die Maschinenelektricität in einen luftleer gemachten gläsernen Ballon oder eine exantlirte Glasröhre einströmt. Diese Ansicht, wonach das Phänomen ein elektrisches ist, hat man später allgemein beibehalten, auch de Luc[1] pflichtete ihr bei, modificirte sie aber nach derjenigen Theorie, die er über die Elektricität überhaupt aufstellte. Reimarus[2] vergleicht das Wetterleuchten mit den Lichtstrahlen, welche aus den Hervorragungen eines stark elektrisirten Körpers freiwillig hervorschiefsen. Wenn daher eine Wolke mit Elektricität überladen ist, so kann sie aus ihren Enden dergleichen Strahlen aussenden, die nur zerstreut und ohne durchbrechende Gewalt in die Luft fahren. Blofse Lichtscheine brechen auf diese Weise aus Wolken bald hier, bald dort, zuweilen fast ohne Unterbrechung aus. Den Anlafs zur Ueberladung giebt die fortdauernd wirkende Ursache der Ladung, bisweilen die Zusammenziehung der Wolke oder die Veränderung ihrer Gestalt. Eine ähnliche Erscheinung zeigen diejenigen Strahlen, welche man im Dunkeln aus Körpern ausfahren sieht, die durch einen steten Zuflufs von Elektricität überladen werden und doch keinen bestimmten Gegenstand finden, dem sie dieselbe durch einen Funken mittheilen können. Bei der Wolke zerstreut sich daher die Elektricität in die Luft, wenn kein leitender Gegenstand innerhalb ihrer Schlagweite vorhanden ist.

Will man nicht absichtlich Schwierigkeiten suchen, so glaube ich, dafs diese Hypothese zur Erklärung des allbekannten Phänomens völlig genüge und durch eine übergrofse Menge von Thatsachen hinlänglich begründet sey. Dafs die Luftelektricität und deren Uebergang von positiver zu negativer Ladung eine Wirkung des Niederschlages und der Verdampfung sey, und dafs die auf solche Weise erzeugte Elektricität in den dickeren und dünneren, ja sogar in den bis zur Unsichtbarkeit dünnen Wolken zurückgehalten werde, darf wohl als ausgemacht gelten. Hiernach zeigt sich dann die durch die genannten

---

1 Ideen über die Meteorologie. Th. II. §. 649.

2 Vom Blitze. Hamb. 1778. §. 173. Neuere Bemerk. vom Blitze. Hamb. 1794. §. 73.

Processe fortdauernd neu erzeugte und frei werdende Elektricität entweder in eigentlichen, zur Erde herabfahrenden Blitzen, oder in solchen, welche von einem Theile der Wolke zum andern hinfahren, oder endlich durch einen bloſsen Lichtschein, alles dieses in abnehmender Stärke, jenachdem die Wolke dichter oder lockerer ist. Bloſse Lichtscheine der freiwerdenden Elektricität gewahrt man auch auſserdem häufig, z. B. bei geriebenen Glasröhren im Dunkeln, oder wenn man bei heiterer und trockner Luft einige auf einander liegende Bogen gewöhnlichen Papiers erwärmt, schnell mit Federharz reibt und dann zwei zusammenhängende Bogen von einander trennt, in welchem Falle mit einem leisen Knistern sich ein Lichtschein über beiden Flächen des Papiers verbreitet. Hiernach hält denn auch Schübler[1] das blasse, mattrothe Licht, welches sich zuweilen vor und nach den Gewittern, selbst aber bei wenig bewölktem oder anscheinend ganz heiterem Himmel zeigt, für eine von den Gewittern unabhängige, leuchtende Erscheinung, die vielleicht durch Ausströmung starker Elektricität ohne elektrischen Gegensatz benachbarter Wolkenschichten veranlaſst wird.

Diese Ansicht dürfen wir als die sehr allgemein herrschende betrachten, Matteucci[2] aber hält das Phänomen zwar gleichfalls für ein elektrisches, bringt jedoch damit die Einwirkung des Bodens und die isolirende Eigenschaft der Luft in Verbindung. Beim Untergange der Sonne und während der Nacht bilden nach seiner Meinung die niedergeschlagenen Dämpfe in der Nähe des Bodens eine leitende Schicht, die dazu dient, das Gleichgewicht zwischen der Elektricität der Erde und der der Atmosphäre herzustellen. Das Phänomen soll sich daher vorzugsweise in den Ebenen zeigen, weil die Elektricität aus den Gebirgen wegen geringerer Dichtigkeit der Luft und der Leichtigkeit der Niederschläge bei der geringeren Temperatur leichter entweichen kann. Huber-Burnaud[3] hält dagegen das ganze Phänomen für eine Wirkung entfernter Blitze, weil man dasselbe sonst einmal in der Nähe des Zeniths sehn müſste. Inzwischen bemerken die Herausgeber der Zeit-

---

1 Grundsätze der Meteorologie. Leipz. 1831. S. 152.
2 Biblioth. univ. T. XLII. p. 9.
3 Ebendaselbst. S. 254.

schrift, man gewahre das Wetterleuchten sehr häufig an allen Theilen des Horizontes, und könne doch unmöglich voraussetzen, dafs dann gerade rings umher Gewitter ständen, deren keins bei völlig heiterm Himmel über dem Beobachtungsorte sichtbar sey. Im Zenith sehe man allerdings das Wetterleuchten selten [1], jedoch hätten sie selbst dasselbe in einer heitern Nacht am Ende des Augusts 1828 wahrgenommen. Ein elektrisches Leuchten müsse sich stets zeigen, wenn die Luft leitend werde, es möge dieses durch Verdünnung oder durch Wasserdampf erfolgen, wenn nur das Gleichgewicht zwischen dem von dieser Luft berührten Körper und der Atmosphäre hergestellt sey. In diesem Falle könnten aber die elektrischen Entladungen sich nicht in Gestalt von Funken zeigen, wie bei trockner und isolirender Luft, sondern allmälig ohne Donner durch einen blofsen Lichtschein.

Da sich keine bestimmte Grenze zwischen den Blitzen und den bis zum Verschwinden abnehmenden Lichtscheinen aus den dicksten bis zu den kaum oder gar nicht mehr sichtbaren Wolken angeben läfst, so müssen wir mit Rücksicht auf die gesammten für diese Erklärung zeugenden Nebenbedingungen das eigentliche Wetterleuchten für eine elektrische Erscheinung, und somit für ebenso genügend erklärt halten, als wir überhaupt die Naturerscheinungen zu kennen und zu erklären uns anmafsen dürfen.

M.

---

1 Die Ursache hiervon hat Brandes sehr richtig angegeben, s. oben.

Wetterlichter.

Sanct-Elmsfeuer, St. Helmsfeuer, Helenenfeuer, Eliasfeuer; *Ignis ex acuminibus, ignis lambens, Castor et Pollux;* Feu St. Elme, Castor et Pollux; *St. Helen's-Fire, Hermes's Fire.*

Man bezeichnet mit diesem Namen eine seit den ältesten Zeiten bekannte, verhältnifsmäfsig sehr häufig vorkommende Erscheinung, dafs hervorragende Gegenstände jeder Art, insbesondere Metallspitzen, einen Lichtpunct oder einen zuweilen mit hörbarem Geräusche ausströmenden Feuerbüschel zeigen. Bei den Griechen und Römern war diese Erscheinung vorzugsweise nur dann bekannt, wenn sie sich an den Masten der Schiffe zeigte, und zwar galt sie für ein gutes Omen, namentlich als Vorzeichen des Verschontwerdens von Stürmen oder des baldigen Aufhörens der vorhandenen, wenn sie zwei Lichtflammen erblickten, die sie dann *Castor* und *Pollux* nannten, dagegen für ein böses, wenn sich nur ein einziger Lichtschein zeigte, den sie dann *Helena* nannten. Aus diesem Namen, glaubt Gehler[1], sey der Ausdruck *St. Elmo*, *Telmo*, *Hermo* entstanden; die portugiesischen Schiffer nennen das Phänomen *Corpo santo*, die englischen *Comazant*, die niederländischen *Weerlicht*.

Die vielen Stellen der Alten nicht zu erwähnen, worin das Phänomen eines Lichtschimmers auf den Spitzen der Masten oder auch der Lanzen blofs erzählt wird, mögen beispielsweise nur einige wenige Angaben hier Platz finden. Der fleifsige Sammler Plinius[2] erzählt, er selbst habe Sterne auf den Lanzen der Soldaten und auf den Masten der Schiffe gesehn, die mit Zischen von einer Stelle zur andern hüpften. Dergleichen sähe man auf eine wunderbare und in der Majestät der Natur verborgene Weise auch zuweilen auf den Häuptern der

1 Wörterb. a. A. Th. IV. S. 742.
2 Hist. Natur. Lib. II. Cap. 37.

Menschen. Oft wird erwähnt, dafs sich die Feuerbüschel auf den Spitzen der Lanzen und der Pfeile zeigten, z. B. von Seneca[1], Livius[2], Hirtius[3] und Andern, und allezeit galt dieses für ein Glück prophezeihendes Vorzeichen, wie auch insbesondere das mehrfach erwähnte Phänomen, dafs das Haupt zu grofsen Dingen bestimmter Kinder einen Lichtschein verbreitete oder brannte, wie man dieses ausdrückte. Dahin gehört die Erzählung Virgil's[4] vom Iulus, des Livius[5] vom Servius Tullius und Andern; auch wird vom Lucius Marcus berichtet[6], dafs eine ihm selbst nicht merkbare Flamme seinen Kopf umgab, als er öffentlich redete, und den Gothenkönig Bamba hielt man für den durch das Schicksal bestimmten Nachfolger in der Regierung wegen einer Flamme, die säulenförmig von seinem Kopfe aufstieg[7]. Der Erste, welcher diese gesammten Erscheinungen von der aus Spitzen, Haaren u. s. w. ausströmenden Elektricität ableitete, dürfte wohl Courtinon[8] seyn, nachdem Miles[9] schon 1745 die ausfahrenden elektrischen Feuerbüschel zuerst beachtet hatte.

Bis auf die neuesten Zeiten herab hat man die nämlichen Erscheinungen mit wenigen Modificationen sehr häufig wahrgenommen; da aber ihre Erklärung nicht streitig ist, so schien es den Beobachtern meistens nicht der Mühe werth, die Sache überhaupt oder nur gelegentlich bekannt zu machen. Hier wird also genügen, einige der auffallenderen Beispiele mitzutheilen, woraus dann zugleich die Beschaffenheit dieser elektrischen Ausströmungen und die Bedingungen, unter denen sie sich vorzugsweise zeigen, genügend hervorgehn werden. Uebrigens ist bei der unverkennbaren Gleichheit dieser Lichtscheine mit denen, die sich bei Erregung der Maschinenelektricität an Spitzen zeigen, die Art ihren Erzeugung nicht zweifelhaft, und

---

1 Quaest. Nat. Lib. I. Cap. 1.

2 Histor. Lib. XXXII. Cap. I.

3 Bellum Afric. Cap. 47.

4 Aeneid. Lib. II. v. 681.

5 Histor. Lib. I. Cap. 39.

6 Valerius Maximus Lib. I. Cap. 6. Livius Lib. XXV. Cap. 39. Plinius Hist. Nat. Lib. II. Cap. 3.

7 Sabellicus Opp. Lib. I. Cap. 4.

8 Hist. de l'Acad. 1752. p. 10.

9 Philos. Trans. abr. T. X. p. 272.

man darf dabei nur nicht vergessen, dafs beim Ausströmen der positiven Elektricität aus Spitzen sich Feuerbüschel, beim Einströmen derselben aber leuchtende Puncte an den Spitzen zeigen.

Unter die bekanntesten Beobachtungen aus der neueren Zeit gehört die von Forbin[1]. Im Jahre 1696, erzählt dieser, zog sich plötzlich während der Nacht ein schwarzes Gewölk zusammen, wobei erschreckliche Blitze und Donnerschläge entstanden. Aus Furcht vor einem starken Sturme wurden die Segel eingezogen, und es zeigten sich mehr als dreifsig Elmsfeuer. Eins unter andern befand sich oben auf dem Windflügel des grofsen Mastes, welches mehr als anderthalb Fufs hoch war. Ein Matrose, welcher hinaufgeschickt wurde, um es auszulöschen, hörte ein Geräusch, als wenn angefeuchtetes Schiefspulver verbrennt. Er sollte den Flügel abnehmen und herabbringen; kaum aber hatte er ihn von der Stelle gehoben, so sprang das Feuer davon weg, setzte sich auf die Spitze des Mastes und blieb daselbst ziemlich lange, bis es nach und nach verging. Der gedrohte Sturm hatte weiter keine Folgen, als einen starken Regen.

Reimarus[2] hat auch dieses elektrische Phänomen näher untersucht, und hält die Wetterlichter nicht sowohl für ein Zeichen des Abzugs der Elektricität aus der Wolke selbst oder ihrem Wirkungskreise, als vielmehr für eine Gegenwirkung auf häufige in der Luft oder den Dünsten zerstreute Elektricität, etwa so, wie man durch Spitzen, die von einem elektrisirten Körper ausgehn, die Luft im Zimmer, besonders wenn viele Dünste darin schweben, elektrisiren kann. Diese Vorstellung ist mindestens undeutlich, wenn nicht geradezu falsch, so wie auch die, dafs der Wind ihre Fortdauer begünstigen soll, weil er stets neue Elektricität herbeiführe. Richtig dagegen ist, wenn er bemerkt, dafs sie sich nicht sowohl während der Gewitter, als vielmehr nach deren Zertheilung zeigen und daher von den Schiffern als eine gute Vorbedeutung betrachtet werden; dafs sie ferner auch ohne Gewitter bei feuchter und stürmischer Luft gesehn werden. Die eigentlich richtige Ansicht

---

1 Mém. du Comte de Forbin. T. I. p. 368. Hamb. Magazin. Th. VII. S. 425.

2 Neuere Bemerkungen vom Blitze. S. 8 u. 170.

liegt aber darin, wenn er sagt, dafs ihre Seltenheit vielleicht daher rühre, weil zu ihrer Entstehung eine negative Elektricität in der Luft erfordert werde, die nicht so häufig, als die positive, vorkomme. Die Untersuchungen über die Luftelektricität[1] ergeben, dafs dieselbe zwar meistens positiv, sehr häufig aber auch negativ ist, Ersteres bei den Niederschlägen des atmosphärischen Wasserdampfes, Letzteres wenn der niedergeschlagene Dunst wieder in Dampfgestalt übergeht. Strömt dann die positive Elektricität der Wolken in Spitzen ein, so kann dieses nur einen leuchtenden Punct geben, welcher leicht unbeachtet bleibt, lockt aber die negative Elektricität der Wolken oder der Luft überhaupt die positive aus den mit der Erde verbundenen Spitzen an, so entstehn beim Ausströmen derselben Feuerbüschel. Diese werden leichter wahrgenommen, und die wiederbeginnende Verdampfung zeigt das Aufhören der Niederschläge nebst den damit verbundenen Hydrometeoren und Stürmen an.

Von sonstigen Beobachtungen möge hier erwähnt werden die von de Saussure und Jallabert[2], welche auf den Apen gegenseitig die aus ihren Fingern und aus ihrer Bekleidung, namentlich aus der metallenen Hutagraffe des Letzteren, ausfahrenden Feuerbüschel wahrnahmen, die ähnliche von Snell[3] und seinem Bruder, deren Hüte gleichfalls bei einem vorüberziehenden Gewitter viele solche Feuerbüschel ausströmten, und verschiedene diesen ähnliche Wahrnehmungen[4]. Sehr ausführlich ist die Beschreibung von Allamand[5], welcher während eines heftigen Gewitters seinen Regenschirm aus Furcht vor der Anziehung des Blitzes nicht zu öffnen wagte und sich lieber dem Regen aussetzte, dann aber das seidene Einfassungsband seines Hutes leuchten sah, ohne dafs er das Licht mit dem Finger auslöschen konnte, indem vielmehr das von diesem in seine Hand gelaufene Wasser gleichfalls leuchtete. Seinen Regenschirm warf er von sich, als die Handhabe desselben leuchtete,

---

1 S. Art. *Luftelektricität*. Bd. VI. S. 465.

2 Hist. de l'Acad. 1767. p. 33.

3 Lichtenberg Magaz. Th. V. St. 1. S. 111.

4 Philosoph. Trans. T. XLVIII. p. 210. Mém. de l'Acad. 1764. p. 403. Ann. de Chim. et Phys. T. XVII. p. 305.

5 Aus Biblioth. univ. 1821 in G. LXX. 116.

holte ihn aber nachher, als die Blitze nachliefsen, wieder, und sah Lichtscheine an den Enden der Fischbeinstangen, nachdem er ihn wieder aufgespannt hatte, die er aber von zu grofser Furcht befangen nicht genau genug beobachtete. Gilbert[1] theilte noch zwei Fälle ähnlicher Art mit. Der Chirurg James Braid aus Leadhills kehrte am 20sten Febr. 1817 gegen 9 Uhr Abends zu Pferde zurück, und sah plötzlich die Ohren seines Pferdes leuchten, auch schien der Rand seines Hutes in Feuer zu stehn. Als es nachher angefangen hatte zu regnen, verschwand das Licht an den Ohren des Pferdes, am Rande des Hutes aber nicht eher, als bis dieser völlig durchnäfst war. Ehe der Regen anfing, schossen unzählige kleine Funken in allerlei Richtungen nach dem Rande des Hutes und den Ohren des Pferdes. Auf gleiche Weise hatte man in der Nacht vom 17ten Jan. 1817 an vielen Orten der Ostküste der Vereinigten Staaten Gewitter mit Regen, Schnee und häufigen Blitzen, die aber selten von Donner begleitet waren. Die Personen, welche sich um diese Zeit im Freien, an etwas hoch liegenden Stellen befanden, sahn den Rand ihrer Hüte, ihre Handschuhe, die Ohren, Schweife und Mähnen ihrer Pferde, am Wege stehendes Gesträuch, einzelne Baumstämme u. s. w. von lebhaften, wankenden und verschieden gestalteten Flammen umgeben, welche ein schwaches Geräusch hervorbrachten, ähnlich dem Simmern des Wassers kurz vor dem Anfange des Siedens. Die Flämmchen glichen vollkommen denen, welche sich im Dunkeln an elektrisirten Drähten zeigen. Bewegung schien das Leuchten zu begünstigen, und die Theilchen des Speichels, wenn man ausspuckte, wurden schon nicht weit vom Munde leuchtend. Wetterlichter an den Ohren seines Reitpferdes bemerkte auch Nicholson[2] zugleich mit mehrern Andern, und der Kopf des einen Pferdes schien sogar ganz in Flammen zu stehn.

Eine vorzugsweise interessante Erscheinung dieser Art ist diejenige, welche Burchell[3] erzählt. „Ich kehrte Abends von

1 Annalen LXX. 119. Ein Fall aus einem Berichte an die Werner'sche Gesellschaft zu Edinburg, ein anderer aus den Schriften der American Academy.

2 Philos. Trans. T. LXIV. p. 351.

3 Reise in Südafrica. Th. I. S. 368. Von mir entlehnt aus Kämtz Meteorol. Th. II. S. 487.

„einem Besuche zurück, welchen ich den Missionären gemacht „hatte, und als ich über die Wiese ging, bemerkte ich ein „elektrisches Phänomen, das ich nur ein einziges Mal in mei- „nem Leben sah. Von jeder Himmelsgegend schienen Blitze „auszugehn, die auf einander in sehr kurzen Zwischenräumen „ohne Donner folgten. Alles ringsumher war still, und nur „einzelne schwere Regentropfen entfielen einigen aufserordent- „lich dichten und schwarzen Wolken. Plötzlich erblindete ich „fast von einem glänzenden Schimmer, der vom Zenith herab- „gefahren zu seyn schien, und einen Augenblick lang schien „jeder Grashalm, funfzehn Fufs im Umkreise, durch die „elektrische Materie entzündet zu seyn. Keine Explosion „fand statt, nicht das mindeste Geräusch liefs sich hö- „ren und das Phänomen äufserte seine Wirkung auf durch- „aus keine andere Weise. Alles blieb ruhig, und ich „setzte meinen Weg fort, ohne dafs die Erscheinung sich von „neuem gezeigt hätte. Das grobe Gras hatte an jener Stelle „einen Fufs Höhe, und jeder Halm, so wie jedes Blatt, war „stark erleuchtet oder schien vielmehr zu brennen; doch wei- „ter als 15 Fufs konnte ich diese Erscheinung nicht wahr- „nehmen.“

Frau von Laroche[1] erzählt, dafs sie von dem Schweizer, welcher ihr die Maschinen zu Marly zeigte, den Wunsch ausgesprochen gehört habe, dafs ein Sachverständiger sich einige Sommertage in seinem Hause aufhalten möge, um ein dort gewöhnliches Feuerwerk zu sehn, indem die eisernen Stangen an den Pumpenwerken alle mit kleinen Flammen besetzt wären, die sich den Berg auf und ab bewegten. Ehemals sey er bange davor gewesen, jetzt aber stehe er allemal auf, wenn es blitze oder ein Gewitter im Thale herziehe, um dieses prächtige Schauspiel nicht zu verlieren.

Die beiden zuletzt erzählten Beobachtungen ergeben, dafs die Wetterlichter auch ohne wässerige Niederschläge sich dann zeigen, wenn Gewitter in der Nähe oder am Orte der Erscheinung selbst vorhanden sind, die zwei aus späterer Zeit mir bekannt gewordenen schliefsen sich aber den oben angegebenen an, sofern die Erscheinung bei Regen und Schnee-

---

1 Reise durch Frankreich. Th. I. S. 476. Vergl. Reimarus neuere Bemerkungen vom Blitze. S. 8.

gestöber sich zeigte. Nach der Erzählung von Mohr [1] ritt in der Nacht vor dem 1sten Jan. 1834 ein gewisser Dr. G. bei Regenschauern mit Schneegestöber untermischt in solcher Finsternifs, dafs er selbst seine Hand nicht sehn konnte, zwischen dem Roerflusse und einem Walde, beide etwa $\frac{1}{8}$ Meile von der Strafse abliegend. Zuerst kam es ihm vor, als wenn Lichtfunken vor seinen Augen schwebten, bald darauf aber sah er wieder zwei Funken, welche so lange anhielten, dafs er 20 bis 30 Secunden lang die Ohrenspitzen seines Pferdes sehn konnte. In weniger als einer Minute traten die Ohren desselben ganz beleuchtet hervor, und ebenso schnell verbreitete sich das Feuer über den ganzen Kopf und Hals, so weit diese nicht durch den Mantel bedeckt waren, im schönsten Glanze. Das Pferd, welches etwas schüchtern zu werden schien, war nicht durch Erhitzung, wohl aber durch den Regen nafs. Die gleiche Erscheinung zeigte sich bei dem Pferde des hinterher reitenden Bedienten; es schien, als wenn auf jeder längeren Haarspitze ein Feuerfunken sitze, gröfsere auf den längeren und fast unmerkliche auf den kleinen. Besonders schön, wie kleine Johanniswürmchen, waren diese Lichtpuncte auf den am Eingange der Nasenlöcher und der Ohren sitzenden Haaren, seltener am vorderen Halse und nach dessen rechter Seite hin, aber höchst brillant folgten sie dem Laufe der Mähnen, wo die Feuerfunken wie Perlen in den einzelnen Haaren eingeschoben zu seyn schienen. An dem Kamme, vom Kopfe bis zum Anfange des Rückgrates, wo die Mähnen links herabhängen, standen viele Haare in die Höhe, deren Spitzen alle mit diesen Lichtpuncten reich besetzt waren; am Schweife und an den übrigen Theilen der Pferde war nichts zu sehn. Die ganze Erscheinung dauerte 5 bis 6 Minuten und erlosch dann allmälig, zuletzt an den Ohren, kam aber noch einige Male von kürzerer Dauer und weniger brillant wieder, bis sie gänzlich aufhörte. Das Licht hatte nicht die Form kleiner Flämmchen, glich auch nicht dem des Leuchtholzes oder des Phosphors, sondern war von grellerem Glanze, etwa wie die Funken des verbrannten und ausglimmenden Papiers.

Sehr nahe übereinstimmend hiermit ist die Erscheinung, die sich am Abend des 31sten Octobers 1837 dem Dr.

---

1 Poggendorff's Ann. XXXIV. 370.

Riegel[1] in der Nähe von Aschaffenburg darbot. Auch dieser war in der sehr finstern Nacht zu Pferde, und wurde von einem heftigen Platzregen mit Sturmwinde überfallen, der indeſs nur einige Minuten dauerte. Ein zweiter Regen durchnäſste aber ihn und sein Pferd, und als er darauf in einer Fähre überfuhr, sah er, daſs die in die Höhe stehenden Mähnen seines Pferdes, so wie die Ränder und Spitzen der Ohren zu leuchten anfingen. Ebenso leuchtete die aus Bindfaden geflochtene Spitze seiner Reitpeitsche etwa einen Fuſs lang. Das Leuchten war am stärksten in der Mitte des Flusses und verlor sich, als er ans Land gekommen war. Riegel vergleicht das Leuchten mit feurigen, auf den Ohren aufsitzenden Quasten; später glich es dem Scheine des Phosphors. Ueberspringende Funken sah er nicht, auch bemerkte er keinen sonstigen leuchtenden Gegenstand. Der Beschreibung nach, so weit sie in dieser Beziehung hinlänglich deutlich ist, wurde im ersten Falle das Leuchten durch einströmende, im letzten durch ausströmende Elektricität erzeugt.

Kämtz[2] ist der Ansicht, das Phänomen zeige sich am häufigsten bei heftigen Stürmen, und mehr im Winter, als im Sommer, namentlich auch bei Hagel und Schneegestöber. Hierfür zeugen mehrere der erzählten Fälle, denn auch bei dem letzten fiel gleichzeitig in einiger Entfernung Hagel. Unter Schneegestöber am 23sten Februar 1792 Abends zeigten sich ferner die vielen Wetterlichter auf dem Thurmknopfe der groſsen evangelischen Pfarrkirche zu Hermannstadt[3]. Anfangs zeigten sich kleine weiſse, ins Bläuliche spielende Flammen, womit bald darauf der ganze Knopf besetzt war. Man hörte dabei ein sehr vernehmliches Geknister, die Flammen bewegten sich, nahmen mit dem Winde ab und zu, und zuletzt zog sich das Licht an den sogenannten Stiefel, welcher den Thurmknopf trägt und stark mit Blech beschlagen ist, so daſs Knopf und Stiefel im lebhaftesten Glanze erschienen. Um halb 8 Uhr hörte es auf zu schneien, und damit verschwand die Erscheinung. Aehnliche Flammen zeigten sich auf dem Thurmknopfe der katholischen Pfarrkirche, auf welcher ein metallenes Kreuz

1 Poggendorff's Ann. XLVI. 655.
2 Meteorologie. Th. II. S. 487.
3 Lichtenberg's Magaz. Th. VIII. St. 4. S. 158.

steht, jedoch etwas später, vermuthlich weil sie niedriger ist. Im December 1806 bei vorherrschendem gelinden Wetter wurde Capitain Bourdet auf einem nächtlichen Marsche in Polen von einem so heftigen Sturme überfallen, dafs die Pferde angehalten werden mufsten. Dabei wurde es so finster, dafs die Reiter die Köpfe ihrer Pferde nicht sehn konnten. Augenblicklich fingen ihre Ohren und alle längere Haare, mit Ausnahme der Mähnen und Schwänze, an zu leuchten und ebenso alle hervorragende metallene Enden und Spitzen, als wenn sie mit einem Schwamme von Leuchtkäfern überdeckt wären. Dieses Phänomen dauerte ungefähr 3 bis 4 Minuten während des heftigen Windstofses und hörte auf, als dieser nachliefs, worauf ein heftiges Regenschauer folgte[1].

Dafs alle diese und zahlreiche ähnliche Erscheinungen in dem Wechsel und der starken Entwickelung der atmosphärischen Elektricität ihren Grund haben[2], geht aus ihnen selbst genügend hervor, zeigt sich aber hauptsächlich dadurch, dafs zuweilen die *Regentropfen*, vorzugsweise aber die *Schneeflocken leuchtend* herabfallen. Unter anderm beobachtete Forskall[3] am 22sten April 1759 das Herabfallen leuchtender Schneeflocken; das nämliche Phänomen sah man am Ende März 1822 auf dem Lochawe-See in Argyleshire[4], ausführlich aber ist dasselbe beschrieben durch Lampadius[5]. Dieser nahm bei einem heftigen Schneegestöber am 25sten Januar 1822 am geöffneten Fenster einen starken elektrischen Geruch wahr, und als er ein Bennet'sches Elektrometer ins Freie hielt, divergirten die Blättchen so stark, dafs das eine derselben beim Anschlagen zerrifs. Zu gleicher Zeit hatte v. Thelau, welcher sich im Freien befand, eine starke Phosphorescenz (wie er dieses nicht ganz richtig nennt) der Zweigspitzen aller an der Strafse stehenden Bäume wahrgenommen. Berührte er einen Baum, so dauerte die Phosphorescenz fort, hörte auf, wenn er die Zweigspitzen anfafste und zur Erde bog, trat aber sogleich wieder ein, wenn er sie losliefs. Das Licht war bläulich-

1 Edinburgh Philos. Journ. N. XXII. p. 405.
2 Vergl. Art. *Luftelektricität.* Bd. VI. S. 485.
3 Bergmann phys. Erdb. Th. II. S. 78.
4 Edinburgh Philos. Journ.
5 G. LXX. 113.

weifs und sehr hell. Drei Bergleute, welche gleichfalls im Freien von dem Unwetter überfallen wurden, sahen die herabfallenden Graupelkörner leuchtend, nahmen aber sonst nichts wahr, da sie die Augen kaum offen zu halten vermochten.

Dafs alle diese Erscheinungen vom Uebermafse der freien Luftelektricität herrühren, die in Folge der wechselnden Verdampfungen und Niederschläge bald positiv bald negativ ist, unterliegt wohl keinem Zweifel. Ich kann daher auch nicht glauben, dafs auf diese Weise je ein eigentliches Brennen entstehn sollte, und würde dieses auch gar nicht erwähnen, wenn nicht ein Fall dieser Art angegeben wäre. Es wird nämlich erzählt[1], dafs am 8ten März 1817 bei Gemmingen während eines starken Gewitters wegen der Menge der auf die Erde herabstürmenden Elektricität die Spitzen der Bäume einer ziemlichen Strecke Landes nicht nur leuchteten, sondern auch bald in Brand geriethen und wie Lichter einige Zeit fortbrannten, ohne dafs übrigens Menschen, welche zwischen diesen brennenden Bäumen durcheilten, dadurch Schaden erlitten. Kein Sachverständiger wird hierbei an ein wirkliches Brennen glauben, um so weniger, da dieses mehr hätte um sich greifen und Spuren des Brandes zurücklassen müssen.

M.

1 Schwäbische Chronik von Elben. Jahrg. 1817. S. 202. Vergl. Schübler's Meteorologie. S. 153.

Wettersäule.

Wasserhose, Wassersäule, Seehose, Wassertrompete, Erdtrombe, Landwasserhose, Landhose, Windhose, Trombe; ***Nubis pendula, Columna, Praester, Turbo aqueus, Turbo terrestris, Haustrum hydraulicum, Draco aqueus, Tuba;*** Trombe, Trombe de Mer, Trombe de terre; *Water-Spout.*

Unter allen diesen verschiedenen Namen, wodurch man ein sehr interessantes, mitunter höchst furchtbares, meteorologisches Phänomen bezeichnet, scheint mir der gewählte, *Wettersäule* der bezeichnendste zu seyn; denn der gebräuchlichste, *Wasserhose*, ist schon an sich nicht angemessen, da die Anwesenheit des Wassers nicht nothwendige Bedingung ihres Entstehens ist, und wenn man gar von einer Landwasserhose redet, so ist dieses auf jeden Fall eine unpassende Bezeichnung, weil hier genau genommen die Wasserwasserhose entgegenstehn müſste. Weit bezeichnender ist der aus dem Französischen entnommene Ausdruck *Trombe*, von der trompetenförmigen Gestalt entlehnt, allein der rein deutsche Name *Wettersäule* ist allen dazu gehörigen Phänomenen vollkommen angemessen. Im Ganzen bezeichnet man nämlich mit diesem Namen die schlauchartig von den Wolken bis zur Erde, zum Meere oder über Seen und Flüsse sich herablassenden, starke rotatorische Bewegung um ihre verticale Axe zeigenden, Wasser und trockne Gegenstände anziehenden, zuweilen aufhebenden und in verschiedenen Entfernungen mit sich führenden, mit ungleicher Geschwindigkeit sich fortbewegenden Wolken, deren Gestalt theils gerade, theils gekrümmt ist, und die mit ihrer unteren Spitze zuweilen den Boden nicht erreichen, zuweilen aber nicht bloſs so weit herabgehn, sondern auch über dem Wasser angelangt sich gleichsam ein Piedestal bilden. Sie grenzen sehr nahe an die heftigen Sturmwinde, und bei den letzteren, wenn

sie von verheerenden Gewittern begleitet und auf einen langen, aber schmalen District beschränkt sind, bleibt es nicht selten ungewifs, ob man sie nicht zur Classe der Wettersäulen zählen soll. Es wird hier nur von den eigentlichen Tromben die Rede seyn, die ähnliche Verwüstungen anrichtenden Stürme gehören dagegen zur Classe der Winde.

Neuerdings haben drei ausgezeichnete Gelehrte, Kämtz[1], Oersted[2] und insbesondere Peltier[3], diesen Phänomenen eine nähere Aufmerksamkeit gewidmet; sie haben die wesentlichsten Erscheinungen zusammengestellt und Versuche zur Erklärung derselben hierauf gegründet. Mit Benutzung dieser schätzbaren Arbeiten werde ich zuvor die wesentlichsten Thatsachen etwas ausführlicher erzählen. Nehmen wir alle diejenigen zusammen, welche überhaupt hierzu gehören, so lassen sich etwa drei Arten unterscheiden: zur ersten können die bei heiterem Himmel sich zeigenden Wirbelwinde gerechnet werden, welche Staub, Spreu, Blätter, Heu u. s. w. mit sich in die Höhe heben, eine zweite würden die auf dem Lande bis zur Berührung der Erde herabgehenden schlauchartigen Wolken bilden, die dann in die dritte, die am häufigsten auf dem Wasser beobachteten, ganz eigentlichen scharf begrenzten Schläuche übergehn. Ohne diese Eintheilung streng beizubehalten, da es Beispiele giebt, dafs die über dem Wasser entstandenen Tromben an das Land übergingen, ist es wesentlich, aus glaubhaften Erzählungen insbesondere die ausnehmend grofsartigen Wirkungen dieser Meteore näher kennen zu lernen.

1) Zu den unbedeutendsten Phänomenen dieser Art gehören die allgemein bekannten *Wirbelwinde* oder *Sandwirbel*, die an heiteren, zuweilen windstillen Tagen Staub, Sand u. s. w. in stark kreiselnder Bewegung herumdrehn und zu einiger, mitunter beträchtlicher Höhe emporheben. Sie zeigen sich am häufigsten, wenn einzelne Wolken sich am heiteren Himmel befinden, und werden als Vorboten naher Gewitter betrachtet, sofern sie einen stark elektrischen Zustand der Atmosphäre andeuten sollen; doch möchte ich sie nicht weiter für Vorboten

---

1 Lehrbuch der Meteorologie. Halle 1832. Th. II. S. 544.

2 Schumacher's Jahrbuch für 1838. S. 228.

3 Traité experimental de l'Électricité et du Magnétisme par M. Becquerel. Tome VI. Par. 1840. p. 173.

der Gewitter halten, als insofern diese auf heiteres Wetter und starke Hitze, wobei sich jene Wirbel vorzugsweise zeigen, ohnehin bald zu folgen pflegen. Ich selbst sah einst auf einer Wiese, dafs ein solcher Wirbelwind, indem er über einige Heuhaufen fortzog, nicht unbedeutende Mengen Heu in stets drehender Bewegung aufhob und fortführte, bis sie durch ihre Höhe und die Entfernung nicht weiter sichtbar blieben. Hamilton[1] beobachtete bei seiner Besteigung des Vesuvs im Juni 1794 zwei Wirbelwinde, wovon der eine, ihm am meisten genäherte, unter einem sonderbaren Geräusche eine Menge feine Asche emporhob und hieraus eine spiralförmig gewundene Säule bildete, die wirbelnd gegen den Berg Somma getrieben wurde, wo sie brach und ihren Inhalt fallen liefs. In den Sandwüsten sind solche Wirbel sehr häufig und den Reisenden nicht blofs unangenehm, sondern mitunter gefährlich. Bruce[2] erzählt hierüber Folgendes. „In der weiten wüsten Ebene von Westen nach Nordwesten sahen wir in gewissen Entfernungen eine Anzahl erstaunlich hoher Säulen von Sand, die sich bald sehr hurtig bewegten, bald mit majestätischer Langsamkeit fortrückten. Zuweilen dachten wir, sie würden uns in wenig Minuten überschütten, und es flogen auch dann und wann kleine Quantitäten Sand zu uns, bald zogen sie sich aber wieder zurück und kamen uns fast ganz aus dem Gesichte." Ohne Zweifel gehört hierher auch die Beobachtung von Burckhardt[3], wonach in Aegypten einige reifsend schnelle Wolken von bläulichem, nachher gelbem Ansehn einen heftigen Sturm mit sich führen, welcher alle Zelte, auch die stärksten, umreifst, nach einiger Zeit aber sich legt oder vielmehr mit der Wolke fortzieht; die Wolken sind vermuthlich Sandwirbel, die in der Nähe ein bläuliches, in der Ferne durch die reflectirten Sonnenstrahlen ein gelbliches Ansèhn haben.

Auf gleiche Weise beobachtete Stephenson[4] bei seinem Aufenthalte am Ganges in den Jahren 1831 bis 1834 in der Provinz Behar Säulen von Sand, die sich bis zu 20 und sogar 60 Fufs Höhe erhoben und mit steter kreiselnder Bewegung

1 Philos. Trans. 1795. p. 73. G. VI. 30.
2 Dessen Reisen. Th. IV. S. 556.
3 Reisen in Nubien. Weim. 1820. S. 530.
4 Aus asiat. Journ. 1835. Dec. in Bibl. univ. 1836. Nov. p. 155.

bis auf eine halbe engl. Meile weit fortrückten. Auf der Insel Bar sah er sie sich bis 100 Fuſs und darüber erheben, mit noch schnellerer Drehung um ihre verticale Axe. Am 25sten Febr. 1833 erhoben sich beim Einfluſs der Soane in den Ganges zwei solche ungeheure Säulen von 12 Fuſs Durchmesser bis in die Wolken, erhielten sich unter starker drehender Bewegung einige Minuten, und wurden dann durch einen leichten Windstoſs zerstiebt. A. v. Humboldt[1] erzählt, daſs in den Steppen des mittäglichen America's diese Sandwirbel sich häufig zeigen. Gleich dem Dampfe erhebt sich der Sand in der Mitte eines verdünnten und vielleicht mit Elektricität überladenen Wirbelwindes, wie eine Wolke in Gestalt einer Tonne, deren unterer Theil gleich den Wasserhosen über die Erde hinstreicht. Aehnliche Sandwirbel gewahrt man auch in Europa auf den groſsen Straſsen, aber vorzugsweise werden sie in den Sandwüsten Peru's, zwischen Coquimbo und Amotape gesehn. Merkwürdig ist, daſs diese partiellen Luftbewegungen sich bloſs dann zeigen, wenn die Atmosphäre vollkommen ruhig ist. In der Savanne von Apure stieg das Thermometer auf 34° bis 36° C., sobald der heiſse Wind von der Wüste sich erhob, und in der Mitte der Sandwolke erreichte es zuweilen auf einige Minuten 36° C. Vorzugsweise zahlreich sind ferner diese Sandwirbel in Indien[2], wo sie namentlich in der heiſsen Jahreszeit in weit gröſserem Maſsstabe, als bei uns plötzlich erscheinen und verschwinden. Sie heben Sand, Laub und sonstige leichte Körper zu bedeutenden Höhen empor und bilden eine Art Tromben, welche die dortigen leichten Dächer abheben und sich mit groſser Schnelligkeit fortbewegen.

2) Bei weitem in den meisten Fällen bestehn die auf dem Lande ihre Verheerungen äuſsernden Wettersäulen aus einer Wolke, die bis zur Erde herabhängend und über einer schmalen Strecke schneller oder langsamer fortschreitend die Wirkungen der gewaltsamsten Sturmwinde hervorbringt, während man in geringer Entfernung von der Grenze ihrer Bahn kaum Luftbewegung wahrnimmt. Ein merkwürdiges Ereigniſs dieser Art traf nach der Erzählung von Lampadius[3] am 23sten April

---

1 Tableau de la nature. T. I. p. 43 u. 177.

2 S. Sykes in Philos. Trans. 1835. p. 190.

3 Systematischer Grundriſs der Atmosphärologie. 1806. S. 167.

1800 das Städtchen Hainichen im sächsischen Erzgebirge. An diesem Tage wechselte der Wind häufig seine Richtung, mehrere Gewitterwolken waren schon vorübergezogen, als um etwa 4 Uhr Nachmittags ungefähr eine halbe Meile vom genannten Orte aus einer dicken Wolke ein langer nebelartiger Schlauch herabhing, der sich bald bis zur Erde herabliefs, bald wieder zur Wolke hinaufgezogen wurde. Dabei bewegte sich die Wolke, der Schlauch senkte sich wieder bis zur Erde und strich mit unglaublicher Schnelligkeit, von Staub und Verwüstung begleitet, in einer Breite von etwa 60 Schritt binnen 7 bis 8 Minuten über eine Strecke von ungefähr einer deutschen Meile fort. Alles, was der Wirbel auf seiner Bahn traf, ward zerstört, während an seiner Grenze vollkommene Windstille herrschte; denn unter anderm sah eine Bäuerin zu Dittersdorf aus ihrem Fenster eine benachbarte Scheune mit Geprassel einstürzen, ohne etwas vom Winde zu empfinden. In Arensdorf, auf dessen Feldern die Zerstörung durch Niedersinken des Schlauches den Anfang nahm, wurden die Häuser oder deren Dächer weggerissen, gewaltsamer aber wirkte das Meteor zu Dittersdorf, zerstörte das vor 6 Jahren neu erbaute Philippi'sche Gut, streuete die Scheune in Stücken umher, verrückte die Stallungen und zertrümmerte selbst das massive Wohnhaus, mit Ausnahme des linken Flügels, den es jedoch um 3 Ellen weit fortschob. Das Dach und die Fruchtböden mit Getreide wurden in einen nahen Teich geschleudert, das Mauerwerk zerrissen, und selbst die Gewölbe widerstanden der Gewalt nicht, mit Ausnahme der Küche, wo die Bewohner einen Zufluchtsort ihrer Rettung fanden. Das Federvieh wurde in der Luft umhergeworfen und dadurch getödtet, doch fand man an den Federn keine Spur von Versengung. Auf dem nächstfolgenden Gute rifs der Wirbel drei Seitengebäude und zwei einzelne Häuser nieder und brach sich dann gewaltsam eine Bahn durch den wenig entfernten Wald. In einer Breite von 60 Schritt blieb kein Baum, kein Strauch verschont, sie wurden ausgerissen oder abgebrochen, und in einem Augenblicke war eine Allee durch den Wald hergestellt. Mehrere Bäume fanden sich bis an die Spitzen abgeschält, einige etliche hundert Schritte über den Strigisflufs fortgeschleudert. Auch über Etzdorf unweit des Städtchens Rofswein erstreckte sich die Verheerung, indem einige Häuser niedergerissen, andere abgedeckt und

mehrere in der Strecke stehende Bäume, unter andern starke Eichen und Linden, ausgerissen oder zerbrochen wurden. Die wirbelnde Bewegung liefs endlich nach und die Wolkensäule zerstreute sich, nachdem sie unter andern einen Knecht nebst seinen zwei Pferden aufgehoben und ersteren in einem Hohlwege, letztere in ein nahes Gesträuch geschleudert hatte.

3) Die Beschränkung auf einen schmalen Strich ist eigentlich das wesentlichste Kennzeichen, wodurch sich die Wettersäulen auf dem Lande von manchen ihnen an verheerender Kraft sehr nahe kommenden Sturmwinden unterscheiden. So entwurzelte einst ein wirbelnder Sturm in Sussex und Kent auf einer nur 60 Ruthen breiten Bahn alle Bäume, während über diese Grenze hinaus nicht einmal die Blätter abgestreift wurden[1], und als ein solcher auf Malta Kanonen und Mörser von ihrer Stelle rückte, rifs er zugleich auf dem Schiffe Hirondelle den hinteren Mast ab, liefs aber den Hauptmast und Flaggenstock unversehrt[2]. Eine am 27sten Juli 1824 zu Voitsbach im Bunzlauer Kreise tobende Wettersäule raubte sieben Scheunen und Häusern ihre Dächer, zerstörte eine Scheune gänzlich, und führte eine Menge Geräthschaften, als Wasserkannen, Stühle, Kleider, Betten u. s. w., bis zwei Stunden weit in den stark verheerten Wald[3]. Hiernach darf man sich nicht wundern, dafs manche Wettersäulen an den Orten, wo ihre wirbelnde Bewegung endigt, die verschiedensten Substanzen fallen lassen. So erzählt Lalande[4] von einer zu Palma-Nuova im Venetianischen beobachteten Trombe, welche als eine etwa 600 Fufs hohe schlauchartige, bis zur Erde herabgehende Wolke nur langsam und mit starkem Geräusche über das Glacis der Stadt fortrückte, ein grofses Haus abdeckte, andere zerstörte, nach und nach Blätter, Sand, Steine und Balken herabfallen liefs, endlich aber von einem Halbmondwerke aufgehalten sich auflöste und sich der im Wirbel aufgehobenen Gegenstände entledigte. Die fortschreitende Bewegung der Wettersäulen ist oft sehr schnell und sturmwindartig, ja es wird berichtet, dafs ein solcher, auf eine geringe Breite beschränkter

1 Annals of Philos. 1818. Juni.
2 Mémoires de Paris. 1758. p. 19.
3 Kastner's Archiv u. s. w. Th. III. S. 450.
4 Journal de l'Empire. 1806. G. XXVII. 475.

Sturm sich in zwei Theile spaltete und nachher wieder vereinigte[1], bei der eben erwähnten dagegen war die Bewegung keineswegs schnell, und in einem andern Falle fehlte das Fortschreiten gänzlich. Mehr den heftigen Gewitterstürmen nahe kommend war das Meteor, welches dem oben erwähnten zu Hainichen ähnlich am 16ten Juli 1806 das Dorf Schweigershausen unweit Osterode am Harze traf[2]. Am Morgen dieses Tages vereinigten sich nach einigen schon vorhergegangenen zwei Gewitter, die etwa 15 Minuten unbeweglich standen, worauf sich von dem ersten eine schwarzgraue Wolke und gleich darauf auch vom zweiten eine hellröthlich gemischte Wolke bis zur Erde herabsenkte. Beide vereinigten sich und streiften ungefähr 20 bis 30 Fuſs über die bestellten Ländereien hin, worauf sie sich nach dem Dorfe wandten und in etwa 3 Minuten von 8 Häusern das zweite Stockwerk nebst dem Dache herabrissen. Im Ganzen wurden 42 Häuser mehr oder weniger beschädigt und 600 Obstbäume und Eichen aus der Erde gehoben oder abgebrochen, darunter einige von 18 bis 24 Zoll Durchmesser, die an der Wurzel abgeschnitten zu seyn schienen. Von einem aus gesundem starkem Holze vor 6 Jahren neu gebauten Hause, 95 Fuſs lang und 40 Fuſs breit, wurde ein 60 Fuſs langer Theil weggerissen und der stehen gebliebene 8 Zoll übergeschoben.

Unter die sehr groſsen Seltenheiten ist zu zählen, wenn das Meteor sich gar nicht bewegt. Dieses war indeſs der Fall bei der merkwürdigen Wettersäule zu Blanquefort unweit Bourdeaux[3] im Jahre 1787. Die Wolken schienen sich von allen Theilen des Horizontes her in einen Punct zu vereinigen und stürzten dann mit unbeschreiblicher Geschwindigkeit gegen die Erde. Der Mittelpunct dieses Wolkengebirges, welches allmälig die Gestalt eines abgekürzten Kegels annahm, hatte verschiedene Farben. Der entstandene Kegel drehte sich, hauptsächlich an seinem unteren Theile, unglaublich schnell um seine Axe, stemmte sich endlich gegen die Erde, und reichte von da bis zu den Wolken hinauf. Aus seinem oberen Theile

1 Thomson in Ann. of Philos. 1818. N. LXVI. p. 442.

2 Aus Nationalzeitung 1806. St. 38. in G. XXVII. 474.

3 Aus Esprit de Journaux 1788. Févr. in Gotha'sches Magaz. Th. V. St. 4. S. 90.

fuhren Blitze, die von dem unteren angelockt zu werden schienen. Die Gewalt des Wirbels war fürchterlich; er brach die Dächer von den Häusern und riſs einen groſsen, durch zahllose Wurzeln gehaltenen Baum aus der Erde. Uebrigens zertheilte sich das Meteor an der nämlichen Stelle, an welcher es entstanden war, und die Umgegend litt nicht das Mindeste davon.

Nicht schneller als die gewöhnliche Bewegung der Wolken war die eines Schweifes, der am 18ten Juli 1822 sich zu Athlone in Irland aus einer Wolke bis fast zur Erde herabsenkte, mehrere groſse Baumstämme zerbrach und über 100 Fuſs weit fortschleuderte, Heuschober durch die Luft fortführte, so daſs man nie wieder eine Spur von ihnen sah, das Dach von einem Hause abhob und in 1,5 Meile Entfernung zertrümmert wieder fallen lieſs[1]. Der Schweif wechselte oft Gestalt und Farbe, war bald gerade, bald gewunden, zu einer Zeit schwarz und dunkel, zur andern hellblau und wie von einem dichten Nebel umflort.

Die groſse Gewalt und wirbelnde Bewegung der Landtromben geht auffallend aus der Beschreibung der Verheerungen hervor, welche die zu Atnsdorf in Schlesien am 25sten Oct. 1820 anrichtete[2]. Man hatte daselbst eben die auf einer Bleiche ausgespannten etwa 100 Schock weiſse Leinwand begossen, als nach 12 Uhr eine Trombe so viel Staub aufwirbelte, daſs das Tagslicht in dicke Finsterniſs überging. Die Luft drückte die Fenster des Bleichhauses ein, riſs die Thüren auf, hob sie aus ihren Angeln und warf einen groſsen Leiterwagen so um, daſs die Räder zu oberst gekehrt waren. Am auffallendsten äuſserten sich die Wirkungen der Trombe gegen die Leinwand. Diese wurde emporgehoben, in mehrere Knäuel aufgewickelt, das gröſste von diesen aber mehr als 40 Fuſs hoch über das an sich bedeutend hohe Dach des Bleichhauses weggeführt und 150 Schritte weit in einen Graben und zwischen Strauchwerk geschleudert. Dieses Knäuel war so zusammengeschlungen, daſs es viele Zeit und Mühe erforderte, dasselbe wieder zu entwirren. Es bestand aus 27 Schock, deren jedes naſs 23 Pfund wog, in der Mitte aber steckte eine 7 Fuſs

---

1 Aus Leipz. Zeit. 24. Aug. 1822 in G. LXXIII. 109.

2 Aus Berliner Zeitung in G. LXXIII. 109.

lange, 2,5 Zoll dicke und 11 Zoll breite Bohle, die als Steg über einen nahen Graben gedient hatte; diese und die um sie gewickelte Leinwand hatte der Wirbelwind hoch über das Dach hinüber geführt und weit fortgetrieben.

Die Stadt Carcassonne wurde zweimal durch eine verheerende Wettersäule getroffen. Im November 1780 entstand dieselbe[1] an den Ufern der Aude, hob eine grofse Menge Sand zu einer bedeutenden Höhe, deckte 80 Häuser ab, hob die Garben im Felde auf und zerstreute sie weit umher; sie rifs grofse Eschen aus und führte dicke Zweige derselben bis 20 Toisen weit in einer ihrer Bewegung entgegengesetzten Richtung fort. Merkwürdig ist die Angabe, dafs im Schlosse, wo die Thüren und Fenster eingedrückt wurden, der Fufsboden eines Zimmers aufgehoben seyn soll, ohne die nebenstehenden Steingutgeschirre zu verrücken[2]. Noch weit interessanter und vielleicht die furchtbarste unter allen in Europa bekannt gewordenen Tromben, wenn anders der Bericht nicht übertrieben ist, war diejenige, welche die Umgebung von Carcassonne am 26. Aug. 1826 traf[3]. Am Morgen wehete ein erstickend heifser Südwind, gegen Mittag häuften sich Wolken im Westen an, und es erhob sich ein heftiger Wind. Darauf sah man in verschiedenen Richtungen Wolken entstehn, sich aufhäufen, zusammenstofsen und zur Erde herabsinken, als würden sie durch diese angezogen. Von allen Seiten hörte man neben einem dumpfen Getöse den Donner rollen, so dafs die Thiere sich verkrochen, als sich plötzlich ein schreckliches Krachen im Westen vernehmen liefs. Die stark bewegte Luft wurde mit ausnehmender Geschwindigkeit gegen eine dunkle Wolke gezogen, die das sogenannte rothe Feld bedeckte, und im Augenblicke der Vereinigung hörte man eine starke Detonation und gewahrte eine feurige Säule, die das Feld rasirte und Alles auf ihrer Bahn entwurzelte. Ein junger Mensch von 17 Jahren wurde im Kreise herumgedreht, aufgehoben und sein Kopf an einem Felsen zerschlagen; ebenso

1 Journal de Physique 1780. Nov.

2 Le milieu d'une chambre fut dépavé, sans que des tas de faïence qui s'y trouvoient fussent dérangés.

3 Courrier. 1826. 19ten Sept. Der Beschreibung nach hatte das Meteor grofse Aehnlichkeit mit den *Typhons*, *Tornados* und *Hurricanes*. S. Art. *Wind*.

wurden 14 Schafe in die Höhe gehoben und erstickt. Die Trombe, eine Luft- und Feuersäule genannt, stürzte Mauern um, verrückte grofse Felsstücke, rifs die gröfsten Bäume aus, drang in das Schlofs, stürzte die steinernen Pfosten des Thorweges um, zerbrach die Thorflügel, rifs deren Bänder ab, drang von hier in den ersten Stock, von da durch die Decke in den zweiten, gelangte so zum Dache und stürzte alle drei Etagen mit schrecklichem Krachen zusammen. Damen, die sich im Saale befanden, verdankten ihre Rettung einem mächtigen grofsen Balken, welcher eine Art Gewölbe über ihnen bildete. Die Trombe drang in ein Kreuzgewölbe unter der Küche, stürzte eine Scheidewand um, hob den Fufsboden auf, zerbrach die Meubeln, warf die Bettstellen um, öffnete die Schränke, durchdrang eine dicke Mauer und warf die Bruchstücke weit umher, hob eine Buche von fünf Fufs Umfang mit den Wurzeln aus, warf die Wagen in den Graben, entwurzelte mehrere grofse Nufsbäume und Weinstöcke und rifs tiefe Furchen in den Boden. Das Meteor liefs einen auffallenden Schwefelgeruch zurück und entlud sich in einem starken Regen, worauf der Himmel sich aufheiterte und der Wind aus Osten blies.

Dafs ein Schwefelgeruch mit den Wettersäulen verbunden sey, wird oft erwähnt, allein es unterliegt wohl keinem Zweifel, dafs dieser der bekannte elektrische sey, der ebenso genannt wird, und bei derjenigen Trombe, welche am 2ten Nov. 1729 bei Montpellier hauste[1], heifst es ausdrücklich, es sey ein Schwefelgeruch wahrgenommen worden, demjenigen ähnlich, welcher die vom Blitze getroffenen Orte zu inficiren pflegt. Man bemerkte zuerst in SO., woher der Wind wehte, eine kleine, sehr dunkle Wolke, die begleitet von einem mit ihrer Annäherung zunehmenden dumpfen Geräusche auf die Stadt zu kam. Sie senkte sich bis zur Erde herab, einer von einem grofsen Feuer aufsteigenden Rauchwolke gleichend, und bewegte sich sehr schnell mit einer wirbelnden Bewegung von 50 Toisen im Durchmesser, wobei sie Bäume entwurzelte, Dächer abhob, Häuser umstürzte und die Bruchstücke 200 Toisen weit fortführte. Nachdem sie diese Verheerungen auf eine kleine halbe französische Meile in einer Breite von etwa 100 Toisen

1 Mém. de l'Acad. de Par. An. 1729.

angerichtet und sich zerstreut hatte, folgte ein heftiger Regen ohne Blitz und Donner.

In mehrerer Beziehung merkwürdig ist die Wettersäule, die sich am 15. Juni 1785 bei Esclades, 4 Lieues von Narbonne, zeigte[1]. Am Morgen war der Himmel ganz heiter, aber die Hitze erreichte schon um 7 Uhr Morgens 36°,25 C. bei 335 Lin. Barometerstand, als sich im Westen eine kleine, bald zunehmende Wolke zeigte. Der Himmel bezog sich stärker, und um 2 Uhr entstand im Westen eine rauchartige brausende Säule, die aus einer enormen Höhe auf die Erde herabhing und alles auf ihrem Wege zerstörte. So bewegte sie sich 5 Minuten, schien dann ebenso lange still zu stehn und ging hernach wieder rückwärts. Das Geräusch glich einem anhaltend rollenden Donner, bis sie sich über Esclades in einen starken Hagel auflöste, dem ein überschwemmender Regen folgte. Das Meteor dauerte im Ganzen 45 Minuten, und während dieser Zeit stieg das Thermometer auf 40° C., das Barometer auf 337 Linien.

Dürfen wir den Erzählungen völligen Glauben schenken, so gehört die nachstehend beschriebene Landtrombe zu den bei weitem interessantesten Phänomenen dieser Art[2]. Am 6ten Juli 1823 beobachteten die Arbeiter auf einer Ebene des Dorfes Assonval, 6 franz. Meilen von St. Omer und ebenso weit von Boulogne, eine schnell eintretende Dunkelheit, die einen heftigen Gewittersturm drohte. Von allen Seiten kommende Wolken vereinigten sich über ihnen zu einer einzigen dicken und schwarzen, von welcher ein dichter Dampf, blau, wie verbrennender Schwefel, in Gestalt eines umgekehrten Kegels herabkam, mit seiner Basis an der Wolke festhängend. Der untere Theil dieses Kegels, welcher sich mit grofser Schnelligkeit drehte, bildete eine von der Wolke abgelöste, etwa 30 Fufs hohe längliche Masse, die auf die Erde mit dem Getöse einer grofsen zerplatzenden Bombe aufschlug und an dieser Stelle eine 20 bis 25 Fufs im Umkreise haltende Vertiefung von 3 bis 4 Fufs mittlerer Tiefe zurückliefs. Etwa 100 Schritt von diesem Puncte in der Richtung von W. nach O. brach der

1 Mém. de l'Acad. de Toulouse. T. III. p. 115.

2 Aus Bulletin universel in Edinburgh Philos. Journ. N. XXII. p. 405.

Wirbelwind eine Hecke zusammen, warf einen Schober um und erschütterte das fest gebaute Haus als wie ein Erdbeben. Gegen 20 bis 30 Bäume lagen so umhergestreut, dafs man die drehende Bewegung deutlich daraus erkennen konnte; andere kleinere waren in die Höhe gehoben und hingen bis zu 60 oder 70 Fufs Höhe in den Zweigen höherer Bäume. Von hier an schritt das Meteor bis zu einer Entfernung von etwa zwei französischen Meilen fort, ohne den Boden zu berühren, warf aber mit Geräusch abwechselnd Baumzweige aus sich heraus. Als es die Anhöhe des Waldes bei Fauquemberg erreicht hatte, brach es die Kronen mehrerer Eichen ab und führte sie über das Dorf Vendome am Fufse des Hügels fort, richtete aber daselbst keinen weiteren Schaden an, als dafs es einen sehr grofsen Ahornbaum mit der Wurzel ausrifs und bis 600 Schritte weit forttrug. In der Gestalt einer Kugel, welche bald die Erde berührte, bald sich wieder über dieselbe erhob, schritt das Meteor zum Dorfe Audinctan fort, wo es drei Dächer abwarf und einige Bäume ausrifs; von da erhob es sich auf einen Hügel, de Capelle genannt, wo es mehrere Arbeiter überraschte, die sich sofort niederwarfen und an ihren Pflügen festhielten, um nicht fortgerissen zu werden. Einer der Pflüge war so tief in die Erde gedrückt, dafs drei Pferde ihn nicht herausbrachten und man ihn mit einer Hacke losmachen mufste. Nach der Beobachtung dieser Arbeiter war das Meteor länglich rund, der verticale Durchmesser betrug ungefähr 30 Fufs, der horizontale 20 Fufs, und seine Drehung um eine verticale Axe war ausnehmend schnell. Aus demselben fuhren zuweilen feurige und Schwefeldampfkugeln aus, die zugleich Zweige auswarfen, welche auf beträchtliche Entfernungen fortgeführt waren. Dasselbe machte zugleich ein Getöse, als wenn ein schwerer Wagen schnell über ein Steinpflaster fährt; bei jedem Ausbruche von Feuer oder Dampf hörte man aber einen Knall, wie einen Flintenschufs, und zugleich verursachte der heftige Wind ein schauerliches Geräusch. Indem der Wirbelwind an einer Stelle die Erde aufgerissen und alles, was Widerstand leistete, umgeworfen hatte, erhob er sich vom Boden, um in einer oder zwei franz. Meilen Entfernung wieder herabzusinken und seine Verheerungen zu erneuern. So geschah es, dafs er den Berg Capelle verliefs und in gerader Richtung eine Meile weiter zu Hernies St. Julien etliche Heuhaufen und mehrere

Bäume fortrifs. Von hier bis Witernesie, drei Meilen weit, that er keinen weiteren Schaden, als dafs er auf der Spitze eines Hügels das Korn auf einer Fläche von 30 Morgen verheerte; im Dorfe selbst blieben von 40 Wohnhäusern nur 8 unversehrt, 32 aber, zusammt ihren Scheunen, wurden umgeworfen und nebst einer Menge ausgerissener Bäume weit fortgeführt. Hierbei bemerkte man, dafs die Wände der Häuser meistens nach aufsen gedrückt waren; ebenso zu Lambre, wo sich eine gleiche Verheerung zeigte und die Einwohner zugleich die drehende Bewegung des Meteors, seine dunkle Farbe und das Centrum einer Flamme wahrnahmen, aus welchem die Blitze und schwefligen Dämpfe ausfuhren. Die Bäume um die Kirche waren mit den Wurzeln ausgerissen und 18 Häuser, meistens aus gebrannten Steinen erbaut, bis auf den Grund zerstört, wobei sich gleichfalls der merkwürdige Umstand zeigte, dafs die Wände nach aufsen gedrückt schienen. Vom Dorfe Lambre an theilte sich der Wirbelwind in zwei Theile; der eine zerstreute sich in der Luft, der andere, welcher einer von heftigem Nordwestwinde fortgetriebenen Wolke glich, gelangte zu der 3 Meilen entfernten Stadt Lillers, wo er gegen 200 Bäume ausrifs und sich dann gleichfalls zerstreute. Hierauf wurde der Himmel klar, der Donner, welchen man von allen Puncten des Horizontes gehört hatte, endete zugleich mit dem Wirbelwinde, und es folgte heiteres Wetter.

Wenn man bei der Beschreibung dieses Meteors ungewifs wird, ob dasselbe für eine Landtrombe oder eine ungewöhnliche, schnell fortschreitende, in eine mächtige Dunstmasse eingehüllte Feuerkugel zu halten sey, so gehört unzweifelhaft das im nämlichen Jahre am 24sten Juni zu Scarborough beobachtete zur ersteren Classe. Nach den Aussagen von mehr als zwanzig Zeugen giebt John Dunn[1] folgende Beschreibung. Nach einem vorausgegangenen Gewitter bemerkten die Arbeiter in einer Manufactur eine dunkle Wolke, mit welcher sich alle umgebenden vereinigten, worauf die ganze Masse in starke Bewegung kam und von einer dickeren oberen Schicht eine dünnere sich gegen die Erde herabzusenken schien. Es bildete sich dann eine Säule, die in der Richtung von NNW. mit so grofser Gewalt fortschritt, dafs sie zwei starke Ulmen, von un-

1 Edinburgh Phil. Journ. N. XIX. p. 11.

gefähr 4 Fuſs Umfang, die eine mit der Wurzel ausriſs, die andere über dem Boden abbrach. Der Abstand beider Bäume von einander betrug 28 Schritt, woraus sich auf den Umfang des Fuſses der Säule schlieſsen läſst. Die bei ihrem Fortschreiten getroffenen jungen Bäume blieben bis auf einen noch unversehrt, vermuthlich weil sie biegsam waren und eine geringe Oberfläche darboten; dagegen warf die majestätisch fortschreitende Wolke eine am Strande aufgestellte Camera obscura in die See und zertrümmerte sie. Bei ihrem Fortgange zum Meere warf sie den Sand bis 60 Fuſs in die Höhe, stürzte die ganze Reihe der Badehäuser um und trieb sie, einige nach Wegreiſsung des Daches und der Räder, in die See. Der Wirbelwind stürzte sich hierauf zwischen die Hafendämme, trieb den Schaum des Wassers bis zu den Spitzen der höchsten Masten empor, warf die Lichterschiffe durch einander, deren eins 8 bis 10 Fuſs in die Höhe gehoben wurde, füllte einige derselben mit Wasser, riſs einige Briggs von ihren Hafenankern, drang dann in den Hafen ein, drehte einen groſsen Krahn mit beträchtlicher Geschwindigkeit um, hob eine Menge leichte Gegenstände in die Höhe, und brach seine Gewalt endlich an einem Haufen Bauholz, worauf er in schnellen Drehungen sich über eine Batterie wälzte und in die Wolken sich erhebend verschwand.

Einige hielten das Meteor für eine Wasserhose, weil sie dasselbe bloſs auf dem Meere sahen, allein es zeigte sich früher auf dem Lande als eine dicke, schnellwirbelnde Rauchsäule; die See war aber ruhig, bis die Wolke sich darauf stürzte, und obgleich die Fläche des aufgeregten Wassers gegen 80 Ellen im Durchmesser hatte und der Schaum 70 bis 80 Fuſs hoch emporgeschleudert wurde, so war die See in weiterer Entfernung doch vollkommen ruhig. Die Dichtigkeit des Schlauches war so groſs, daſs einige Personen ihn für eine Rauchsäule hielten, am meisten glich er aber dem von einem Brauhause oder einer Dampfmaschine aufsteigenden Dampfe. Die Geschwindigkeit des Fortschreitens läſst sich nicht genau ermitteln, war aber sicher nicht gröſser, als die eines laufenden Menschen, und das erregte Getöse glich dem von fahrenden schwer beladenen Wagen. Blitze und überhaupt leuchtende Erscheinungen wurden dabei nicht wahrgenommen, doch aber ist

Dunn geneigt, die Ursache dieser Meteore in der Elektricität zu suchen.

4) Halten wir uns vorerst noch an die dem Lande eigentlich zugehörigen Tromben, so verdient auch diejenige erwähnt zu werden, die durch Pellis[1] zu Flaujagues bei Ste. Foy in der Gironde am 28sten Juli 1835 beobachtet wurde. Während es donnerte, ohne zu regnen, bildete sich eine schwarze Wolke, in welche sich andere seitwärts stürzten und die eine sichtbare drehende Bewegung zeigte. Bald darauf senkte sie sich herab, nahm eine schräge Richtung an, gelangte bis auf den Boden und bewegte sich durch den Wind getrieben binnen 20 Minuten über eine Strecke von einer französischen Meile, wobei sie zweimal die Dordogne passirte. Als sie diesen Fluſs zum zweiten Male überschritt, senkte sich ihr unterer Theil in ihn herab, der obere zog sich in die Höhe und wurde vom Winde fortgetrieben. In der Wolke glaubte Pellis zwei Luftströmungen, eine aufsteigende und eine herabsinkende, wahrzunehmen; sie riſs auf ihrem Wege alles mit sich fort und hob unter andern 24 aufgehäufte Korngarben auf, von denen nie etwas wieder gefunden wurde. Auf dem Strome stürzte sie die mit Ketten gegen den Andrang des Wassers befestigte Mühle um, verheerte auf einer Strecke von 50 bis 60 Meter in einer Breite von 8 bis 10 Meter alles, was ihr im Wege stand, riſs die stärksten Bäume aus, brach sie ab oder drehte sie um und hob von einem kleinen Hause das Dach ab, welches in einer Entfernung von etwa 100 Schritten in einzelnen Stücken wieder aus ihr herabfiel. Die Wolke glich einem dicken Rauche, doch lieſs sie keinen Tropfen Regen fallen.

Eine nähere Beachtung verdient die Trombe, welche am 1sten Mai 1835 unweit der Mündung der Mosel kurzdauernde Verheerungen anrichtete[2]. Ueber der Wasserfläche des Rheins, etwa den vierten Theil der Stromesbreite einnehmend, bildete sich eine frei schwebende Wolke, die einer hohen Wassersäule gleichend nach oben spitz zulief. Sie erhielt sich fast 10 Minuten stillstehend, prallte dann bei Ehrenbreitstein gegen das Land, und wurde zu einem Staubwirbel, der einige Bäume

1 Ann. de Chim. et Phys. T. LXI. p. 174.

2 Nach öffentl. Blättern. Frankf. Zeit. N. 123. Genau beschrieben durch Mohr in Poggendorff's Ann. XXVI. 231.

ausrifs und eine Partie Wäsche in die Höhe führte. Auf einen geringen Raum beschränkt, drückte sie auf ihrer Bahn Thüren und Fenster ein, führte ein Dach etwa 40 Schritte und einzelne Schiefer eine Viertelstunde weit fort, warf mehrere Rahmen mit ausgespannten Häuten, jeder 43 Pfund schwer, in den Rhein und die Mosel, und manches Geräthe auf den Speichern verschwand, ohne dafs man wufste, wohin es gekommen war. Unter andern wurde in einer Gerberei ein Fenster eingedrückt und ein Pfahl ausgerissen, die nicht weit davon stehenden Arbeiter empfanden aber nicht einmal einen leichten Windstofs. Ein Mädchen mit einem Tragkorbe wurde aufgehoben, aber von ihrem Begleiter festgehalten, den Korb dagegen, welchen sie auf dem Kopfe trug, rifs der Wirbelwind fort und führte ihn in den Rhein bis auf ein Viertel der Stromesbreite. Es folgte später ein nicht eben bedeutender Hagelschauer.

5) In heifseren Gegenden, namentlich in den vereinten Staaten von Nordamerika, wo die Temperatur höher und der Wechsel der Temperaturen stärker ist, daher auch Stürme und Gewitter zahlreicher und heftiger sind, als auf dem europäischen Festlande, zeigen sich ohne Zweifel auch zahlreichere Tromben, die jedoch minder allgemein bekannt werden. Inzwischen hat Hare[1] über eine Trombe, die am 19ten Juni 1835 sieben engl. Meilen von New-Brunswick beobachtet wurde, einen genauen Bericht abgestattet[2]. Sie bewegte sich mit einer Geschwin-

---

1 Aus Americ. Journ. of Sc. 1837 April. In Bibl. univ. 1837. Sept. p. 157.

2 Die Wirkungen, welche diese Trombe angerichtet hat, sind sehr genau und von verschiedenen Forschern untersucht worden, weil sie Veranlassung zu einem Streite über die eigentliche Beschaffenheit und Wirkungsart dieser Meteore gaben. Redfield vertheidigt die Meinung, dafs solche Stürme eine wirbelnde Bewegung haben und dafs überhaupt die rotirende Bewegung bei den auf dem nördlichen atlantischen Ocean vorkommenden Stürmen von der Rechten nach der Linken gerichtet sey. S. Amer. Journ. of Sc. cet. T. XXXV. p. 206. Dagegen stellten Bache in Trans. of the Amer. Phil. Soc. T. V. p. 417, Espy ebend. und Walter R. Johnson in Journ. of the Academy of the Nat. Sciences of Philad. T. VII. P. II. die wirbelnde Bewegung, namentlich bei der genannten Trombe, in Abrede, und unterstützten die Theorie, nach welcher durch Niederschlagung von Wasserdämpfen Wärme frei werden und die so erwärmte, zugleich aber verdünnte Luft aufwärts stei-

digkeit von 25 bis 30 engl. Meilen in 1 Stunde, endete aber schon 17,5 engl. Meilen von ihrem Ursprunge an zu Amboy. Ihre Gestalt glich der eines umgekehrten Kegels, welcher mit seiner Basis in den Wolken hängend die scheinbare Höhe von etwa einer engl. Meile hatte. Das Meteor rifs in einer Breite von 300 bis 600 Fufs alles um, was ihm im Wege stand, sowohl Bäume, als auch Häuser, mehrere Dächer wurden abgehoben, und dieses alles geschah während einer Zeit von wenigen Minuten, indem unter andern die Gebäude und Bäume einer Pachtung niedergerissen wurden, während der Besitzer über den Hof lief. Blitze und Donner, insbesondere aber ein starkes Geräusch, begleiteten das Meteor, alle umgestürzte Gegenstände waren mit Koth von der Seite her überschüttet, von wo es kam, und die Blätter aller biegsamen Gesträuche fanden

---

gen soll. Aus dieser aufwärts gerichteten und zugleich fortschreitenden Bewegung sollen sich dann die verheerenden Wirkungen der Sturmwinde erklären lassen. Hiergegen erklärt sich Redfield in Lond. and Edinb. Philos. Mag. N. 114, sucht seine Hypothese zu vertheidigen, und weist durch eine Menge Argumente, die hauptsächlich aus der genau bestimmten Richtung der bei der in Frage stehenden Wettersäule und einem Sturme, welcher am 15ten Dec. 1839 gleichfalls zu New-Brunswick grofse Verheerungen anrichtete, umgestürzten zahllosen Bäume wohl sehr befriedigend nach, dafs sich allezeit bei diesen Meteoren eine wirbelnde Bewegung zeige, aus welcher sich dann der gröfste Theil ihrer zerstörenden Wirkungen erklären lasse. Ohne hier die einzelnen Beweise mitzutheilen, die durch eine grofse Menge anderweitiger Erfahrungen hinreichend begründet sind, wird die allgemeine Bemerkung genügen, dafs schon der Natur der Sache nach alle Stürme, sobald sie über der Erde hinfahrend auf unüberwindliche oder auch nur stark widerstehende Hindernisse treffen, keine rein fortschreitende Bewegung beibehalten können, sondern eine zugleich wirbelnde annehmen müssen. Hiernach ist eine scharfe Grenze zwischen Sturmwinden und Wettersäulen an sich nicht möglich; man nimmt aber, um für die einmal statt findende Unterscheidung einen genügenden Grund zu haben, meistens, wo nicht allgemein an, dafs bei den Stürmen die fortschreitende, bei den Wettersäulen die rotirende Bewegung die vorherrschende und zugleich die bezeichnende sey. Die Classe der Wettersäulen beginnt daher mit den nur wenig oder gar nicht fortschreitenden Sandwirbeln und endigt mit den schrecklich verheerenden, unglaublich schnell fortschreitenden Orkanen, die Classe der Winde dagegen beginnt mit den vorzugsweise gerade fortschreitenden Luftbewegungen und endigt mit den Orkanen, bei denen eine starke Drehung aus den angegebenen Gründen nicht fehlen kann, so dafs daher der Unterschied beider in ihren Extremen verschwindet.

sich beschädigt. Von vier verwüsteten Orten lagen alle Gegenstände nach einem gemeinschaftlichen Centrum hin gerichtet, ein Strickbeutel wurde 7 engl. Meilen, ein Brief 20 Meilen von New-Brunswick fortgeführt[1].

6) Die Mittheilungen von Peltier[2] über die Landtromben betreffen nicht blofs die einfachen Phänomene, sondern man gewahrt darin augenscheinlich das Bestreben einer genügenden Erklärung derselben. Nicht nach eigener Anschauung, sondern nach dem Berichte eines Augenzeugen erzählt er das Entstehn, den Fortgang und die Auflösung einer Landtrombe, die den 18ten Juni 1839 in der Commune Chatenay (Dep. Seine und Oise) grofse Verheerungen anrichtete. Um 10 Uhr Morgens kam ein Gewitter von Süden und blieb einige Zeit unter Blitzen und Donnern über Fontenay stehn, bis um Mittag ein zweites nachfolgte, welches gleichfalls stehn blieb, als es das erste obere erreicht hatte. Plötzlich senkte sich eine Wolke von letzterem herab, bis auf die Erde. Hiermit hörte der Donner auf, aber alle leichte Körper von der Oberfläche der Erde wurden angezogen, und eine Menge kleiner Wolken bewegte sich schnell kreiselnd um den Schlauch. Einer der Beobachter, Namens Dutour, will gesehn haben, dafs der Schlauch unten mit einer feurigen Kappe endigte, ein anderer, mehr in den erregten Staub eingehüllt, gewahrte dieses nicht, und auf jeden Fall würde es für etwas Aufsergewöhnliches zu halten seyn. Die Trombe bewegte sich langsam, verschonte die Gegenstände, die sie beim Vorübergehn nicht berührte, zerrifs und entwurzelte aber die von ihr ergriffenen Bäume, stand einmal der Angabe nach 10 Minuten lang still, gerade damals, als sie unter das erste Gewitter kam, zerstörte dann aber eine in ihrer Bahn liegende Villa mit einem Park, wobei blofs die kleinsten, noch sehr biegsamen Bäume verschont blieben, stürzte Mauern um und nahm die Dächer der Häuser fort, wobei einige Bäume über 100, leichtere Sachen bis 500 Meter weit fortgeführt wurden. Endlich theilte sich der Schlauch in zwei Theile, deren einer in die Höhe stieg, der andere sich gegen die Erde

1 Da die Trombe überhaupt nur 17,5 Meilen durchlief, so mufs der Beutel noch gegen drei Meilen weiter fortgetragen worden seyn.

2 L'Institut. 7me Ann. N. 290. p. 242. Ein anderer Bericht ist von Bouchard. S. Compte rendu cet. 1839. Nov. 15 u. 22. Juillet.

zog. Am meisten bemerkenswerth ist, dafs der Erzählung nach der Schlauch über einen Teich hinstrich, dabei viel von der Heftigkeit seiner Wirkung verlor, aber alle Fische tödtete. Die letztere Thatsache wurde übrigens durch genauere Erkundigung bestätigt, auch will man eine in den Teich fahrende elektrische Explosion bemerkt haben, wovon Peltier das Tödten der Fische ableitet. Ueberhaupt sind nach seiner Ansicht alle Tromben von elektrischen Explosionen begleitet, und die Wirkungen, die sie auf dem Lande und auf dem Wasser hervorbringen, beruhn auf der besseren Leitung, welche letzteres der Elektricität darbietet[1].

Dasjenige, was Peltier weiter über dieses Phänomen berichtet, ist allem Anschein nach nicht mehr reine Thatsache, sondern mit theoretischen Ansichten vermengt, und würde sich daher mehr dazu eignen, erst später erwähnt zu werden, wenn von den Versuchen einer Erklärung dieser Meteore die Rede seyn wird; allein die Meinungen, welche Peltier hierüber hegt, weichen so sehr von den Ansichten der übrigen Physiker ab, dafs wir sie füglich hier vorläufig erörtern können. Es wird angegeben, dafs alle Bäume, die durch die Trombe getroffen waren, ausgetrocknet gewesen wären, wie wenn sie sich 24 Stunden in einem Ofen von 150° C. befunden hätten. Durch das plötzliche Verschwinden (Verdampfen) der Feuchtigkeit war ein Theil aller Stämme in Latten gespalten. Durch den starken Strom der Elektricität soll die Temperatur erhöht und hierdurch alle Feuchtigkeit verdampft seyn, weswegen die Bäume zu schlechten elektrischen Leitern gemacht und zerstört, aber nicht ausgerissen wurden. Nach Peltier's Ansicht verwandelte sich das Gewitter in eine Trombe; die elektrische Wolke des ersten Gewitters stiefs die Wolke des zweiten Gewitters zurück, die sich daher senkte und durch Staub, Bäume u. s. w. mit der Erde in Verbindung kam, wobei der Saft der Bäume durch die enorme Hitze sogleich verdampfte. Man will auch Flammen, Feuerballen und Funken als Begleiter dieses Gewitters gesehn, wie nicht minder einen Geruch nach Schwefel in den Häusern wahrgenommen haben. Hiernach wäre also eine Wettersäule nichts anderes, als eine Wolke, welche die unausgesetzten elektrischen Ladungen einer oberen leitet, und

1 S. a. a. O. N. 293. p. 272.

jedes Gewitter könnte durch eine solche Zwischenwolke in eine Wettersäule übergehn.

7) Einige weitere Modificationen dieser anfänglichen Meinung Peltier's sollen später (§. 35) erwähnt werden. Wichtiger dagegen ist eine Berechnung der Kraft, welche diese Wettersäule ausübte, worüber ich kaum irgend eine sonstige Angabe finde. Lalanne[1] berechnet, dafs zum Umstürzen der einen zerstörten Mauer eine Kraft von 300 Kilogrammen gegen ein Quadratmeter Fläche erforderlich gewesen wäre. Wenn aber der Wind 150 Meter Geschwindigkeit in einer Secunde hat, so beträgt der Druck nur 281 Kilogramme, und der stärkste Winddruck kann daher nicht gröfser als zu 275 Kilogrammen angenommen werden. Hiernach glaubte er, es müsse in der Wettersäule ein Luftvacuum gewesen seyn, wodurch bis zu 1000 Kilogrammen Druck gegen eine Fläche von einem Quadratmeter erzeugt werden könne. Ich theile diese Angaben mit, ohne in eine Prüfung derselben einzugehn, wozu die Thatsachen nicht genugsam bekannt und nicht hinlänglich begründet sind; von der Kraft der bewegten Luft wird im Art. *Wind* die Rede seyn.

8) Wettersäulen, die zunächst dem Lande angehören, zugleich aber auch das Wasser grofser Flüsse berühren, sind nicht sehr selten; zwei solche sind durch Nöggerath beschrieben worden. Die eine derselben zeigte sich am 4. Aug. 1824 zu Niederwesseling unfern von Bonn[2]. Gegen Mittag dieses Tages sahen die Bewohner jener Gegend gegen Südwest eine schwarze Wolke, die sich stets tiefer zur Erde herabsenkte, und aus welcher im Verlaufe der Zeit ein ziemlich breiter, nebelartiger, weifsgrauer Streifen herabhing, welcher nach unten sich trichterförmig erweiterte. Die Farbe dieses unteren Theiles unterschied sich kenntlich von der den Streifen zum Theil einschliefsenden Wolkenhülle; auch beobachtete man deutlich eine schnelle Umdrehung der trichterförmigen Erweiterung um ihre verticale Axe. Einem etwas entfernten Beobachter erschien das Ganze als ein dichter Nebel oder ein von einem Feuer aufstei-

1 L'Institut 7me Ann. N. 293. p. 270.

2 Kastner's Archiv. Th. III. S. 52. Es ist in der That merkwürdig, dafs gerade in jener Gegend am Rhein so viele Wettersäulen vorkommen.

gender Dampf von weiſser Farbe, dessen Breite über der Erde er auf 300 Schritte schätzte und der in einer Höhe von etwa 80 Fuſs in eine Spitze auslief. Auf seiner Bahn von SSW. nach NNO. warf das Meteor die auf den Feldern liegenden Garben in einen Teich, aus welchem nachher mehrere Tausende wieder herausgezogen wurden. Die Bahn krümmte sich etwas nach dem Dorfe Wesseling zu, vor welchem der Wirbel die aufgehäuften Getreidegarben in einer Breite von 40 bis 50 Fuſs in die Höhe riſs und umherschleuderte, dann aber, im Dorfe angelangt, unter einem Getöse, welches dem Gerassel schwer beladener Wagen glich, gegen die Zäune und Häuser warf, wo sie durch ihre Menge die Straſsen sperrten. Auſserdem wurden 40 Ziegeldächer beschädigt und 6 gänzlich zerstört, fest verriegelte Thüren, Läden und Fenster aufgerissen, eiserne Beschläge verbogen oder abgerissen, eine 80 Pfund schwere eiserne Platte von einem Schornsteine 12 Schritt vom Hause weit fortgeschleudert, eine Scheune gänzlich zerstört, viele Bäume theils geschält, theils ausgerissen, theils abgebrochen und zwei am Ufer spielende Knaben ins Wasser geschleudert, die nur der schnell herbeieilenden Hülfe ihre Rettung verdankten. Im Dorfe breitete sich die Wettersäule bis zu 250 Fuſs aus, über ihren Bereich hinaus aber herrschte gänzliche Windstille. Die Verheerungen in diesem Dorfe geschahen in einer Zeit, die man nicht länger als 3 bis 4 Minuten schätzte. Vom Dorfe aus überschritt das Meteor den Rhein, und hier zeigte sich in der Mitte des Stromes ein prachtvoller Anblick, indem die ungeheure Kraft des Wirbels das Wasser bis zu 24 Fuſs tief gleichsam durchbohrte, so daſs man den Boden des Flusses sehn konnte, während die Wellen daneben sich gegen 40 bis 50 Fuſs hoch aufthürmten. Der früher bemerkte weiſslich graue Streifen, welcher aus der Wolke herabhing, war auch noch jetzt vom Wasser umgeben kenntlich, unten breit, nach oben allmälig schmäler, und zuletzt in den Wolken sich verlierend. Jenseit des Rheins bewegte sich das Meteor mit geringerer verheerender Kraft noch etwa eine halbe Meile weit fort und verschwand dann, indem der weiſse Schlauch zusammt seiner schwarzen Wolke in den übrigen Wolken zerfloſs. Nöggerath bemerkt hierbei ganz richtig, daſs dieses Meteor in drei Beziehungen beachtet zu werden verdient, zuerst sofern seine Gestalt die umgekehrte der gewöhnlichen war, zweitens weil die Breite desselben wechselte,

und drittens indem die Gleichheit der auf dem Lande und dem Wasser sich zeigenden Wettersäulen daraus hervorgeht.

9) Die Beschreibung des zweiten Meteors dieser Art, welche Nöggerath[1] mitgetheilt hat, ist um so schätzbarer, da sie von Grossmann, einem mit den physikalischen Gesetzen vertrauten, aufmerksamen und genauen Beobachter, herrührt. Nach vorausgegangener, mehrere Tage anhaltender grofser Hitze, die trotz einiger Regenschauer nicht gänzlich nachliefs, zeigte sich am 25sten Juni 1829 an dem nach einem vorausgegangenen Regen noch bedeckten Himmel in einer schwarzen Wolke eine runde lichte Masse, die nach oben die Gestalt eines Schornsteins annahm, aus welchem ein grauweifser Dampf aus mehreren Oeffnungen mit grofser Gewalt auszuströmen schien. Das Meteor bewegte sich nach der Mosel hin, und schien am rechten Ufer dieses Flusses gleichsam neu entstanden zu seyn, als es seine Verheerungen begann; es warf die um einen Baum aufgehäuften Steinkohlenmassen durch einander, stürzte einen Arbeiter von einem Kalkofen herab und überschritt mit einem schrecklichen Geprassel, als wenn viele Steine durch einander geworfen würden, die Mosel, wobei das Wasser thurmhoch empor spritzte. Jenseit des Flusses liefs es Spuren seines Zuges zurück und warf einige Weiber ohnmächtig zu Boden; zwei Arbeiter beobachteten seinen Gang von einem Baume aus, den sie erstiegen hatten, ein anderer war dreist genug, demselben zu folgen, was beinahe im gewöhnlichen Schritte möglich war; allein wegen der zickzackförmigen Bewegung befand er sich plötzlich in demselben, und es war ihm dabei, als wolle es bald ihn fortziehn, bald in die Höhe heben, und nachdem er sich auf ein Werkzeug stützend gebückt hatte, ward er rücklings zu Boden geworfen und auf diese Weise befreiet. Im Ganzen bemerkte er weder einen Geruch noch Geschmack, sondern blofs das betäubende Gerassel; mit Gewifsheit will er aber zwei Bewegungen wahrgenommen haben, die eine in schiefer Richtung nach oben gehend, wodurch Aehren und leichte Körper fortgezogen wurden, die andere dieser entgegengesetzt.

Dieses letzte Meteor war von dem zuerst gesehenen verschieden, und es ist nicht unwichtig, dafs beide gleichzeitig

---

1 Schweigger's Journ. Th. LVI. S. 372.

beobachtet wurden. Das zuletzt wahrgenommene hatte die Breite von 10 bis 18 Schritten und durchzog eine Länge von etwa 2500 Schritten; seine Gestalt war nahe kegelförmig, seine Farbe bald graulichweifs, bald gelblich, bald dunkelbraun und mehrmals feurig. Das erste Meteor stand über diesem in der Höhe, bewegte sich fast parallel mit ihm gegen Norden, stiefs während etwa 18 Minuten eine Menge graulichweifsen, zuweilen feurigen Dampfes aus, der aus einer Entfernung von etwa einer Viertelmeile gesehn die Gestalt einer 140 Schritte langen Schlange annahm, deren Kopf nach NNO. und deren Schwanz nach SSW. gerichtet war. In einer Zeit von 8 bis 10 Minuten hatte sich dieser Schwanz von unten nach oben herumgewunden, und in dem Augenblicke, als er den Kopf berührte, hatte das ganze Phänomen ein Ende, ohne dafs irgend jemand eine Explosion gewahrte. Gleich nachher aber verbreitete sich über die ganze Flur ein stinkender, schwefelartiger Geruch, und bald darauf entlud sich über einem etwas entfernten Walde ein Hagelschauer mit dicken Körnern.

Diese Verbindung der Wettersäulen mit Hagelschauern gehört nicht zu den Seltenheiten. So war es der Fall mit derjenigen, durch welche am 4ten Messidor 1801 die Stadt Marcelein und ihre Umgegend verheert wurden[1]. Es war dieses Meteor ein aus den Wolken herabhängender Schlauch, dessen Basis auf der Erde fast eine französische Meile im Umfange hatte. Zuerst zerstörte die Wettersäule eine Menge Dächer, rifs die Fahne vom Hauptthurme, wandte sich hernach in das Feld, zerbrach die Bäume und schüttete dann eine Menge Hagel aus, worauf ein heftiger Regen folgte, dessen Wasser in starken Strömen das Getreide wegschwemmte. Auf ähnliche Weise wirkte die Wettersäule am 10. Mai 1818 zu Gistebnitz im Taborer Kreise[2]. Man sah dieselbe am fernen Horizonte entstehn, und von hier aus sich dem genannten Orte nahn, wo sie mehrere Häuser umwarf, Bäume zerbrach und zuletzt auf einem Brachfelde austobte, indem sie Sand, Steine und sonstige Gegenstände in die Höhe hob. Das Ganze endigte mit einem fürchterlichen Hagel. Es wird zugleich behauptet, das Laub sey versengt worden, was indefs schwerlich constatirt

1 Journ. de Paris. 1801. N. 294.

2 Nach öffentl. Blättern.

ist. Ganz ohne Hagel und Regen endigte dagegen diejenige Trombe, welche sich am 6ten Juli 1822 bei Ossonval bildete[1]. Die von allen Seiten herbeiströmenden Wolken flossen in eine einzige zusammen, die den ganzen Horizont bedeckte, und aus welcher ein Schlauch sich herabsenkte, dessen unteres Ende sich mit bedeutender Geschwindigkeit um seine verticale Axe drehte. Bei ihrer mit dem Winde fortgehenden Bewegung richtete sie die gewöhnlichen Verheerungen an, zerrifs die Kronen der stärksten Bäume und führte sie fort, stürzte auch 25 bis 30 derselben um und warf sie nach verschiedenen Richtungen, so dafs man hieraus deutlich ihre kreiselnde Bewegung erkannte. Zuweilen will man aus ihrer Mitte feurige und dem Schwefeldampfe ähnliche Ballen ausfahren gesehn haben, auch erzeugte sie ein Geräusch, als wenn ein schwerer Wagen über ein Pflaster fährt. Nachdem sie in dem Dorfe Witternestre von 40 Häusern 32 stark beschädigt oder zerstört hatte, löste sie sich auf, indem der obere Theil sich in die Höhe zog, der untere in eine leichte Wolke zerflofs.

10) Die auf dem Lande so grofse Verheerungen anrichtenden Wettersäulen wurden meistens für Sturmwinde gehalten, bis eine genauere Untersuchung zeigte, dafs sie mit den eigentlichen Wassertromben dem Wesen nach identisch seyen. Hierin liegt wohl die Ursache, dafs sie von den Alten nicht als eigenthümliche Meteore erwähnt werden, statt dafs die eigentlichen Wassertromben ihrer Aufmerksamkeit nicht entgehn konnten, weswegen auch schon Lucretius[2] eine Beschreibung derselben giebt. Aufserdem scheinen sie auf dem Wasser häufiger zu entstehn[3] und hinsichtlich ihrer eigenthümlichen Gestalt auffallender und merklicher hervorzutreten. Nach Kämtz[4] zeigen sie sich nie in der Mitte der Aequatorialmeere, wo die regelmäfsigen Passate wehen, unter niederen Breiten auf dem hohen Meere aber nur da, wo Windstillen herrschen und veränderliche Winde wehn, am häufigsten in der Nähe des Landes. So beobachtete man sie hauptsächlich an der Küste von

1 Becquerel Traité expérimental d'Électr. T. VI. p. 178.

2 De rer. nat. L. VI. vers. 423.

3 Peltier's auf Vollständigkeit Anspruch machendes Verzeichnifs enthält 56 Wasserhosen und 60 Landtromben, s. Becquerel a. a. O. p. 185; dennoch sind die ersteren gewifs häufiger, werden aber seltener bekannt gemacht.

4 Meteorologie. Th. II. S. 545.

Guinea, in der Strafse von Malacca, im mittelländischen und rothen Meere. Auf letzterem Meere, so wie unter mittleren Breiten, auf der Nord- und Ostsee und dem finnischen Meerbusen gehören sie zu den nicht eben seltenen Erscheinungen. Der durch seine reichen Erfahrungen und seine unbefangene Beobachtungsgabe ausgezeichnete Horner[1] giebt über sie folgende allgemeine Bestimmungen:

a) Sie entstehn meistens blofs in der Nähe des Landes, wo unbeständige Winde und wechselnde Temperaturen herrschen.

b) Sie sind allezeit von örtlichen Gewittern oder mindestens elektrischen Erscheinungen begleitet, erscheinen aber nie bei ausgedehnten Gewittern.

c) Ebenso wenig sind sie jemals Wirkung eines allgemeinen Windes, vielmehr herrscht um sie her meistens Windstille.

d) Sie führen, so wie die Landtromben, alle von ihnen ergriffene Gegenstände mit sich fort.

e) Sie entstehn bald von oben aus den Wolken, bald von unten aus dem Wasser.

f) Ihre Masse besteht nicht aus dichtem Wasser, sondern blofs aus Wasserdunst.

g) Die Gröfse ihres Durchmessers ist von 2 bis 200 Fufs verschieden und ihre Höhe von 30 bis 1500 Fufs.

h) Die Landtromben haben mit den Wettersäulen auf dem Wasser gleichen Ursprung, sind aber heftiger wirkend und zerstörender, weil durch das Entgegenkommen des Wassers das Gleichgewicht der Elektricität erhalten oder hergestellt, und somit die Wirkung vermindert wird.

11) Beschreibungen von Wettersäulen auf dem Wasser giebt es so viele, dafs ich mit Uebergehung der älteren Beobachtungen[2] nur einige der späteren ausführlicher mitzutheilen für angemessen halte.

---

1 G. LXXIII. 95.

2 Dahin gehören die von Dampier in dessen Voyage round the world. In Collection of Voyages. Lond. 1729. 8. T. I. p. 452. Philos. Trans. T. XXII. p. 805. T. XXIII. p. 1077. T. XXVIII. p. 78. T. XLVI. p. 248. T. XLVII. p. 477. Hieraus haben vorzüglich Musschenbroek Introd. T. II. Tab. LX. und Bergmann physikal. Beschreibung d.

Labillardière[1] fand es der Mühe werth, die ansehnliche Trombe, die er unter dem Aequator in 135° 40′ östl. L. gewahrte, zu beschreiben. Um das Schiff herrschte ziemliche Windstille, aber an jenem Orte war das Wasser in starker Bewegung und weifslich. Sie hatte die Gestalt zweier länglicher Kegel, die mit ihren Spitzen zusammenstiefsen; die Basis des einen stand auf dem Meere, die des andern verlor sich in einer dicken Wolke. Die Wolken schienen ihm von einem starken Wirbelwinde bewegt zu werden, der eine grofse Menge Wasser vereinigte und es in Strömen ausgofs, und Labillardière meint, dafs auf diese Weise die Wettersäulen entständen, bemerkt aber zugleich, dafs dann das aufgehobene Wasser der See salzig seyn müsse, da er doch aus der Aussage eines glaubhaften Zeugen, welcher zwei auf ein Schiff fallen sah, mit Gewifsheit wisse, dafs dasselbe süfses sey, was auch durch andere Angaben genügend erwiesen ist.

12) Zu den genauesten Beschreibungen des Entstehens und des Verhaltens der Wettersäulen auf dem Meere, so wie der sie begleitenden Umstände, gehören die, welche Michaud[2] nach seinen längere Zeit zu Nizza angestellten Beobachtungen gegeben hat. Die Zeichnungen, wodurch er seine Angaben erläutert, dienen zwar sehr zur Versinnlichung, es wird aber nicht nöthig seyn, diese hier mitzutheilen, da sich die Hauptsachen ohnehin deutlich machen lassen, wenn ich mich zugleich auf die später folgenden Figuren solcher Wettersäulen beziehe, die wohl als den meisten derselben am ähnlichsten gelten können.

Die Wettersäulen bestehn aus drei wesentlichen Theilen: dem Fufse derselben, welcher sich auf dem Meere erhebt, einem herabhängenden geraden oder gekrümmten Schlauche, und den Wolken, woran dieser oben befestigt ist oder von denen er, mehr oder minder der Oberfläche des Wassers sich nähernd, herabhängt. Dafs diese Wolken auch für sich bestehn

---

Erdkugel. Greifsw. 1780 geschöpft. Hist. de l'Acad. 1727. p. 4; 1741. p. 20; 1764. p. 32; schwed. Abhandl. Th. XII. p. 285. Franklin Exper. and Observ. on Electricity. Lond. 1769. p. 231. Reimarus vom Blitze. Hamb. 1778. §. 155. Forster Reise um die Welt. Berlin 1778. Th. I. S. 144.

1 G. XXX. 188.

2 Journ. de Phys. T. XXX. p. 284. Mém. de l'Acad. de Turin. T. VI. Daraus in G. VII. 49.

können, hat überall nichts Auffallendes, und so kann man sich auch leicht vorstellen, dafs aus ihnen Schläuche bis zu bedeutender Tiefe herabhängen, ohne dafs sich unter ihnen der Fufs bildet; dafs aber der letztere ohne Anwesenheit eines Schlauches, wenngleich bei vorhandenen Wolken, für sich allein gebildet wird, ist allerdings im hohen Grade merkwürdig, zugleich aber durch unzweifelhafte Beobachtungen genügend bestätigt. So sah unter Andern MICHAUD von seiner Wohnung zu Nizza aus in der Entfernung eines Flintenschusses einen Fleck auf der See von 10 bis 12 Toisen Durchmesser, von welchem aus Dünste als dichte Nebel bis zur Höhe von 8 Toisen emporstiegen. Auffallend war ihm dabei dafs diese Dünste sich gleich aufgespannten Segeln aufrecht erhielten, ungeachtet ein frischer Wind sie zum Ufer hin trieb, woselbst angekommen die aufschäumende Masse umgestürzt und als ein gekrümmtes Horn, die Spitze nach unten gekehrt, vom Winde fortgeführt und zerstreut wurde. Am nämlichen Tage sah derselbe in 2 bis 3 franz. Meilen Entfernung eine völlig ausgebildete Wettersäule mit einem sehr grofsen und hohen Fufse, welcher unten von kleinerem Umfange war, sich aber oben bis zu ungeheurer Gröfse ausbreitete, indem der wolkenartig aufsteigende Nebel in seinem Innern viele emporgeschleuderte Wassertropfen zeigte. Derselbe glich einem vulcanischen Krater, der grofse Ströme von Wolken und Massen von Seewasser auswürfe. In diese aufsteigenden Massen senkte sich der bis unten hin kenntlich begrenzte kegelförmige, unten spitz zulaufende Schlauch in gerader Richtung bis fast zur Meeresfläche reichend herab. Die Farbe des Meteors war ein dunkles Indigo[1], und so sahen auch die Wolken aus, die sich von O. nach W. verbreiteten. Während der Beobachtung schlug ein Hagelschauer mit Körnern von der Gröfse einer Flintenkugel gegen das Fenster, die den Früchten keinen Schaden thaten, ob-

1 Es ist oben Art. *Meer.* Bd. VI. S. 1709 ausführlich über die Farbe des Meeres gehandelt und dabei gezeigt worden, dafs diese sehr von äufsern Bedingungen abhängt. Eben dieses ist der Fall bei den Wolken, und es lassen sich daher auf die Farbe der Wettersäulen keine entscheidenden Schlüsse über ihre physische Beschaffenheit bauen. Gewifs ist wohl, dafs sie aus mehr oder minder dichtem Dunste bestehn, weswegen ihre Farbe nach dem auffallenden Lichte verschiedentlich wechseln mufs.

gleich sie sich bis zu 4 Zoll Höhe aufhäuften, weil sie bloſs aus zusammengeballten Schneeflocken ohne bedeutende Härte bestanden. Einige Zeit nach dem Verschwinden der ersten beobachteten Trombe zeigte sich eine neue, die wohl schon die dritte seyn mochte, weil der Hagelschauer die anhaltende Beobachtung unterbrochen hatte. Bei dieser zog sich nach einiger Zeit der Schlauch in die Wolken zurück und der Fuſs verschwand. Kaum war auch diese verschwunden, als auf dem nämlichen Platze, wo die erste gesehn worden war, sich der vollkommen ausgebildete Fuſs einer neuen zeigte, dem aber der Schlauch gänzlich fehlte. Diese Entstehung war einestheils merkwürdig, sofern daraus hervorgeht, daſs der Schlauch den Fuſs nicht nur nicht nothwendig und stets bildet, sondern sogar nicht einmal unmittelbar bedingt, anderntheils auch deswegen, weil der Fuſs an der Stelle seines Ursprungs unbeweglich stehn blieb, statt daſs die übrigen mit dem Schlauche zugleich fortschritten. In einiger Entfernung über diesem Fuſse hing ein kleiner Wolkenzipfel herab, welcher sich bewegte, und als er lothrecht über den ausgebildeten Fuſs gekommen war, senkte er sich in vielen Krümmungen als ein sehr dünner Schlauch in diesen herab, der sich dadurch mehr ausbreitete; die vielen Krümmungen verloren sich, es entstand ein eigentlicher Schlauch und somit eine völlig ausgebildete Wasserhose, deren Farbe augenblicklich tief dunkel wurde und die sich mit der gewöhnlichen Schnelligkeit in der Richtung der früheren bewegte. Endlich bildete sich noch eine vierte Wasserhose, ganz auf die Art, wie die früheren, und es folgte ein Schneegestöber, welches die Nacht hindurch anhielt und eine Menge Schnee brachte. Diese merkwürdige Beobachtungsreihe zeigt, daſs bei vorhandener Disposition mehrere solche Meteore kurz nach einander entstehn können, was nicht zu den seltenern Erscheinungen gehört; denn wohl in den meisten Fällen zeigen sich gleichzeitig zwei oder mehrere vollkommene oder unvollkommene Wasserhosen.

13) Unter den Bemerkungen, welche Michaud diesen und zugleich den Beobachtungen von noch zwei andern später gesehenen Wasserhosen hinzufügt, verdient noch besondere Beachtung, daſs seiner Erfahrung gemäſs der Fuſs dieser Gebilde an Gröſse abnimmt, sobald sie sich der Küste nähern, und zugleich auch dann, wenn die Tiefe des Meeres sich vermindert,

woraus er folgert, dafs die Höhe der Füfse nie gröfser sey, als die Tiefe des Wassers. Nach den verschiedenen hierüber existirenden Zeichnungen mufs man in der That schliefsen, dafs die Füfse der Tromben, die über Seen und grofsen Flüssen gebildet werden, wirklich bedeutend niedriger, die Schläuche derselben dagegen länger sind, als bei denen, die den Meeren zugehören. Merkwürdig war aufserdem der verhältnifsmäfsig heftige Wind, welcher diese sich oft wiederholenden Phänomene begleitete. Die Stärke desselben ging daraus unwidersprechlich hervor, dafs ein kleines Schiff an der Küste zu ankern versuchte, aber nicht verhindern konnte, auf den Strand getrieben zu werden, auch wurden einige andere Schiffe etwas beschädigt. Michaud bemerkt jedoch, dafs die Wellen nicht eben hoch waren, weil der damals herrschende Ostwind überhaupt der Oertlichkeit wegen minder heftig ist, und aufserdem fand er, dafs derselbe eine mehr horizontale Richtung hatte. Auf jeden Fall scheint die Disposition zur Bildung von Wasserhosen gerade zu jener Zeit so geeignet gewesen zu seyn, dafs der Wind ihre Entstehung nicht hindern konnte. Hierfür zeugte aufserdem auch die häufige Wiederkehr des nämlichen Phänomens, was jedoch auch anderweitig wohl beobachtet worden ist. So sah man einst an der irländischen Küste eine Wasserhose, deren Höhe auf 50 Fufs geschätzt wurde, die oben zu rauchen schien und nach deren Verschwinden mehrere nachfolgten[1]. Ein anderes Mal wurde ebendaselbst eine Wasserhose gesehn, deren Schlauch den bereits gebildeten Fufs nicht erreichte, aber doch war der Theil des Meeres unter dem herabhängenden Schlauche in starker Bewegung, während die umgebende Fläche in vollkommener Ruhe blieb[2].

14) Interessant sind die Erzählungen, welche Boussard[3] über einige von ihm an den Küsten der Insel Cuba beobachtete Wettersäulen mittheilt, um so mehr, als er die blofsen Thatsachen, ohne Einmischung theoretischer Ansichten, berichtet. Am 12. Juli 1782, an einem schönen, warmen Tage, bei nebligem Horizonte und wolkenfreiem Himmel, erhob sich etwa 6 Seemeilen von der Küste plötzlich in einiger Entfernung vom

1 Edinburgh New Phil. Journ. N. III. p. 139.
2 Ebendaselbst. N. XXVII. p. 180.
3 Journ. de Phys. T. III. p. 346. G. VII. 73.

Vordertheile des Schiffes eine Trombe. Während das Schiff sich ihr näherte, nahm sie beträchtlich zu, bis sie etwa noch 400 Toisen entfernt war. Zu dieser Zeit schien der Durchmesser ihrer Grundfläche 4 Toisen, der des unteren Theiles der Säule 4 Fuſs und der mittlere Theil der letzteren 10 Fuſs zu betragen, der obere Theil aber erweiterte sich und bildete die Wolke. Ein leichter Ostwind schien die Trombe und das Gewölk vor sich her zu treiben, und als beide sich einigen Schiffen der Flotte näherten, wurden mehrere Kanonenkugeln dagegen geschossen, welche das Zuströmen des schnell in die Höhe kreiselnden Meerwassers unterbrachen; die Wasserhose wurde sofort unten kleiner, der Schlauch trennte sich vom Fuſse und das Aufbrausen nahm ein Ende. Die innere Bewegung schien regelmäſsig von unten nach oben gerichtet zu seyn, sie lieſs nach und bildete nicht mehr die Wolken, die den ganzen Horizont bedeckten. Bald darauf lieſs sich der Donner hören, ein Blitzstrahl traf eins der Schiffe, und es fiel ein Regen, welcher eine Stunde lang anhielt und die Luft merklich abkühlte. Der Schlauch war stets minder dunkel, als das Gewölk, und gegen das Ende merklich heller.

Boussard bemerkt bei den Betrachtungen, die er über dieses Phänomen anstellt, er habe oft bei fast wolkenfreiem Himmel wahrgenommen, daſs die Wasserhosen sich zuerst aus dem Meere erheben, die dazu gehörigen Wolken erst erzeugen oder doch vergröſsern und Stürme veranlassen, weswegen das dumpfe Getöse, welches man wahrnimmt, und das Aufkochen im Fuſse nicht vom herabfallenden Wasser herrühren kann, indem das aufbrausende Wasser vielmehr im Schlauche aufsteigt, wie der Augenschein zeigt. Nach seiner Ansicht läſst sich daher nicht annehmen, daſs das Wasser in dem Schlauche herabsinke, weil sich sonst hierdurch die ganze Wolke entladen müsse.

Boussard beobachtete später bei der Insel Teneriffa noch zwei Wasserhosen. Beim Entstehn der ersten befand er sich in einem Boote, also in geringer Höhe über der Meeresfläche, und erblickte sie in der Entfernung von etwa einer franz. Meile erst, nachdem sie ausgebildet war. Der sehr stark aufbrausende Fuſs hatte ungefähr einen dreimal gröſseren Durchmesser, als der Schlauch, dessen innerer Theil durchsichtiger war, als das Uebrige, weswegen er auch diesesmal das Wasser regel-

mäfsig darin aufsteigen sah, wobei sich die Wolke beträchtlich an Umfang vergröfserte und mannigfaltige Farben annahm. Die Hauptfarbe des oberen Theiles war röthlich, des unteren, der an die Trombe grenzte, schwärzlich braun. Nach 15 bis 20 Minuten entstand östlich neben dieser eine zweite Trombe, die sich nur etwa 15 Minuten ohne merkliche Vergröfserung erhielt, worauf sich der Schlauch von dem Fufse trennte, letzterer sich senkte, und man nichts weiter sah, als den zurückgebliebenen Wolkenzipfel. Der untere Theil des Schlauches schien nicht über 1 Fufs, der mittlere 2 Fufs, der oberste 10 bis 12 Fufs dick zu seyn; der aus dem Meere aufbrausende Fufs war viel stärker und erhob sich bis zu ungefähr 12 oder 15 Fufs. Auch in diesem Schlauche stieg das Wasser regelmäfsig empor und er war dunkler, dagegen der der ersten Trombe lichter, als die Wolken, von denen sie herabhängen.

Auch Murhard[1] versichert, bei den etwa sechs Wasserhosen, die er auf dem mittelländischen Meere gleichzeitig beobachtete, deutlich wahrgenommen zu haben, dafs das Wasser in dem Schlauche aufwärts stieg und zugleich herabsank, wobei noch aufserdem drehende Bewegungen in horizontalen Ebenen statt fanden.

15) Eine Beschreibung der Gestalt der Wasserhosen und der Erscheinungen, welche sie im Allgemeinen darbieten, hat Gilbert[2] mitgetheilt. Die Hauptsache des Ganzen ist von Brewster, der sie aus dem Tagebuche des erfahrenen Seemannes George Maxwell entlehnte, welcher als Capitain eines englischen Handelsschiffes häufig Congo besuchte. Zuerst zeigt sich eine spitz herabhängende schwarze Wolke A, und erst nach deren Erscheinen beginnt das Aufwallen des Meeres, wie dieses durch D dargestellt ist. Letzteres hat dem Ansehn nach Aehnlichkeit mit einem rauchenden Ofen. Die schwarze kegelförmige Wolke sinkt dann mehr und mehr herab, bis fast zur Oberfläche des Meeres, während die rauchende Erscheinung stets höher und höher steigt, bis sie die Wolke nahe erreicht hat, aus welcher der Schlauch herabhängt. Eine solche, in B dargestellte, vollständige Wasserhose soll den Schiffen, die das Unglück haben, in ihre Nähe zu kommen, Fig. 179.

1 G. XII. 242.
2 Dessen Annalen d. Ph. LXXIII. 96.

höchst gefährlich seyn. Beginnt das Meteor sich zu zerstreuen, so nimmt es die Gestalt an, die durch C versinnlicht ist; die schwarze Wolke zieht sich in der Regel aufwärts, nimmt ein zottiges Aussehn an, läſst aber eine dünne, durchsichtige Röhre CE zurück, welche bis zu dem Wasser herabreicht, auf welchem die dem Rauchen ähnliche Erscheinung stets noch fortdauert. Um diese Zeit will Maxwell im oberen Theile der Röhre eine eigenthümliche Bewegung wahrgenommen haben. Brewster bemerkt hierbei, daſs diese Angaben genau mit denen übereinstimmen, welche Alexander Stewart[1] über die von ihm 1701 im mittelländischen Meere gesehenen Wasserhosen mitgetheilt hat. Dieser sagt: bei allen, insbesondere aber bei der groſsen Säule, bemerkte man, daſs sie gegen das Ende anfingen auszusehn wie ein hohler Canal, bloſs an den Rändern schwarz, in der Mitte aber weiſs; und obgleich die Trombe anfangs überall schwarz und undurchsichtig war, so konnte man doch sehr deutlich das Meerwasser in der Mitte dieses Canals aufsteigen sehn, wie den Rauch in einem Camine, mit einer groſsen Schnelligkeit und sehr sichtbarer Bewegung. Bald darauf trennte sich der Canal in der Mitte, und verschwand allmälig, während das Aufkochen und die säulenartige Gestaltung des Meerwassers bis zuletzt fortdauerte, ja selbst noch geraume Zeit, nachdem der Schlauch verschwunden war, und vielleicht bis die Trombe aufs neue erschien oder sich wieder bildete, welches meistens an derselben Stelle als zuvor geschah, indem sie binnen 15 oder 30 Minuten mehrmals zerbrach und wieder entstand.

16) Brewster forderte seine Landsleute auf, wenn sie Gelegenheit hätten, Wasserhosen zu beobachten, ihm die erhaltenen Resultate mitzutheilen. Dieses veranlaſste Napier zur Beschreibung der von ihm am 6ten Sept. 1814 ziemlich in der Nähe unter 30° 47′ nördl. Br. und 62° 40′ östl. L. von Greenwich gesehenen. Das Barometer zeigte 30,1 Zoll engl., das Thermometer 27°,22 C., die Luft war schwül und dunstig, gegen Süden schwebten schwarze schwere Wolken niedrig am Himmel, und es herrschte veränderlicher Wind, dann und wann mit einigen Tropfen Regen. Um 2 Uhr Nachmittags bemerkte man, daſs sich etwa 360 Faden rechts vom Schiffe

1 Philos. Trans. 1702. p. 1077.

eine aufserordentliche Art von Wirbelwind bildete. Er hob das Wasser in cylindrischer Gestalt und vom Durchmesser eines Wasserfasses anscheinend im Zustande von Rauch und Dunst in die Höhe. Dieser Fufs der Trombe zog in südlicher Richtung nach dem herabhängenden Gewölke, indem er an Höhe und Umfang zunahm, mit schraubenförmiger schneller Bewegung, bis er mit dem Ende einer Wolke in Berührung kam, welche auch ihrerseits herabsank, um mit ihm zusammenzutreffen. Etwa eine Seemeile vom Schiffe blieb die Wasserhose einige Minuten an derselben Stelle unverrückt stehn; an ihrem Fufse kochte und dampfte das Wasser und entlud sich rauschend und zischend in die über ihr hängende Wolke, während es selbst eine schnelle spiralförmige Bewegung hatte, und sich bog oder gerade streckte, jenachdem die veränderlichen Winde dieses mit sich brachten, die nun abwechselnd aus allen Strichen des Compasses wehten. Bald darauf kehrte die Trombe nach Norden, in gerade entgegengesetzter Richtung des Windes, welcher um das Schiff herrschte, zurück und ging gerade auf den Steuerbordbaum desselben los. Man suchte derselben durch veränderte Richtung des Schiffes auszuweichen, allein sie kam so nahe, dafs man das übliche Mittel wählte, auf sie zu schiefsen. Nachdem mehrere Schüsse geschehn waren und vorzüglich eine Kugel gerade in dem Abstande eines Drittels von ihrer Basis durch sie gegangen war, erschien sie eine Minute lang wie in zwei Stücke horizontal durchschnitten, und beide Theile schwankten in verschiedenen Richtungen hin und her, als würden sie von entgegengesetzten Winden bewegt, bis sie sich wieder vereinigten. Einige Zeit nachher zerstreute sich das Ganze in eine ungeheure schwarze Wolke, aus der es in grofsen schweren Tropfen auf das Verdeck des Schiffes regnete, bis die Wolke erschöpft war.

Zu der Zeit, als der Schufs oder die Erschütterung der Luft durch die Schüsse die Wasserhose in zwei Theile theilte, war ihr Fufs weniger als eine halbe Seemeile vom Schiffe entfernt und bedeckte eine Fläche Wasser, welche volle 300 Fufs im Durchmesser hatte, vom einen Rande der kochenden Stelle bis zum entgegengesetzten gerechnet. Wo der Schlauch am dünnsten war, etwa in $\frac{2}{3}$ ihrer Länge aufwärts, schien er 6 Fufs im Durchmesser zu haben; die scheinbare Höhe des Halses der Wolke, in welche die Hose das Wasser auslud, betrug

40°, die Wolke selbst aber erstreckte sich über den Scheitelpunct des Schiffes hinaus und rings umher in bedeutende Weite. Napier setzt ihre damalige Entfernung auf ⅓ Seemeile oder 2050 Fuſs, und dann giebt dieses eine Höhe von 1720 Fuſs für die Trombe. Das Wasser an der Basis kochte mit einem weiſsen Rauche, wovon ein Theil nach auſsen bis zu einem gewissen Umfange gestoſsen wurde, ein anderer Theil als ein dicker dunkler Dunst aufstieg, der sich allmälig in dünne Streifen ordnete, so wie er den Wolken näher kam, bis sich alles zerstreute und ein heftiger Regenguſs ausbrach. Kurz zuvor, ehe die Trombe sich auflöste, sah man zwei andere im Süden, die jedoch kleiner waren und nur kurze Zeit dauerten. Das Barometer stand nach dem Meteore unverändert, das Thermometer war um 1° gestiegen; der Wind blies während der Dauer desselben und des nachfolgenden Regens, also etwas über eine halbe Stunde, abwechselnd aus allen Strichen der Windrose, sprang mehrentheils in entgegengesetzter Richtung über, war immer sehr schwach und erreichte nur auf Augenblicke die Stärke eines frischen Windes. Blitz und Donner wurden nicht beobachtet und das auf das Verdeck fallende Wasser war reines Regenwasser.

Das Schieſsen gegen die Wasserhosen ist ein den Schiffern allgemein wohlbekanntes Mittel, welches sie zur Sicherung gegen ihre Wirkungen anzuwenden pflegen, wenn sie mit Kanonen versehn sind. Merkwürdig ist in dieser Beziehung eine Beobachtung von Ogden [1], welcher auf seiner Tour von Havannah nach Norfolk an einem heiſsen Tage mehrere Tromben entstehn sah, während einzelne dicke Wolken am Himmel standen; die Erscheinungen dabei waren die gewöhnlichen, auch endigten sie meistens mit Blitzen aus den Wolken. Einer derselben wurde eine 32pfündige Kanonenkugel mitten durch den unteren Theil geschossen, welche sie in zwei Theile trennte, und verursachte, daſs das Wasser nach beiden Seiten sprang, ohne jedoch eine wesentliche Aenderung hervorzubringen. Die dichte Wolke, aus welcher diese Trombe herabhing, war ungefähr 300 bis 400 Fuſs hoch über dem Schiffe; aus ihr schien lothrecht der Schlauch in 200 Fuſs Entfernung vom Schiffe

1 Silliman Amer. Journ. of Sc. 1836. Jan. Biblioth. univ. de Génève. 1836. T. III. p. 158.

herabzusinken, die Wolke allein schien sich dann zu bewegen, der untere Theil der Trombe aber schien vom Schiffe gleichsam zurückgestofsen zu werden, und ging in ungefähr 60 Fufs Entfernung vor dem Hintertheile desselben vorüber. Unter dem Schlauche war das Meer sehr bewegt; einige Fufs über der Oberfläche des Wassers nahm man deutlich eine kreiselnde Bewegung wahr, und hörte zugleich ein Geräusch, als wenn Wasserdampf durch eine enge Oeffnung strömt. Der Schlauch hatte etwa 4 bis 5 Fufs Durchmesser, schien scharf begrenzt, und erweiterte sich erst da schnell, wo er mit der Wolke in Verbindung trat; seine Farbe war licht und dunstartig, insbesondere wenn man ihn aus geringerer Entfernung betrachtete. Die obere Wolke wurde zunehmend dichter und zeigte leuchtende Spuren von Elektricität. Nachdem sich die Trombe etwa 20 Minuten in der Nähe des Schiffes aufgehalten hatte, wurde der untere Theil des Schlauches zunehmend dünner und verlor sich allmälig in der Wolke, worauf man einige Mal donnern hörte und dicke Regentropfen herabfielen, die zur Verwunderung der Matrosen aus süfsem Wasser bestanden, da diese meinten, es müsse dieses aufgesogenes Seewasser seyn[1].

---

1 Die Fälle, in denen die Wasserhose ein Schiff trifft, müssen sehr selten seyn, denn eine eigentliche Entladung des Schlauches über einem Schiffe habe ich nicht angegeben gefunden, und man mufs hieraus schliefsen, dafs die grofse Furcht der Schiffer vor denselben nicht begründet ist, vielmehr vermuthlich blofs auf der Vorstellung von den Gefahren beruht, die ein dem Anschein nach so furchtbares Ungeheuer anrichten könne. In dem einzigen, von Chladni erzählten Falle §. 18 findet man eine wirkliche Beschädigung des Schiffes durch eine Wasserhose angegeben, aber auch dieser Schaden war nicht sehr bedeutend und entstand durch die aufwallende Bewegung des Wassers, welches den Fufs bildete. Eine solche Wassermasse kann allerdings leicht eine bedeutende Gewalt ausüben, und mufs auch gesalzenes seyn, obgleich im angegebenen Falle dieses nicht ausdrücklich bemerkt wird. Auffallend ist übrigens, dafs die Seefahrer allgemein die Meinung hegen, das Seewasser steige in den Schläuchen auf, dennoch aber sey das aus ihnen auf die Schiffe herabfallende süfs, weswegen Michaud annimmt, das Seewasser verdampfe und steige daher als destillirtes, mithin süfses, im Schlauche auf. Diese Meinung ist allerdings kühn und bedürfte einer näheren Bestätigung; vorläufig mufs man wohl die richtige Erklärung darin suchen, dafs das Wasser, welches später aus den Schläuchen oder den Wolken, wohin sie sich zurückgezogen haben, auf die Schiffe fällt, allezeit süfses ist und auch seyn mufs, denn

17) Die mitgetheilten Zeichnungen Maxwell's zeigen zwar die Wassersäulen im Allgemeinen, allein keineswegs mit allen den Modificationen, die unter verschiedenen Bedingungen bei ihnen statt finden; Letzteres ist wohl am vollständigsten durch Buchanan[1] geschehn, und seine Mittheilungen mögen daher hier zur Vervollständigung der Thatsachen noch Platz finden. Dieser sah am 24sten Mai 1788, nachdem kurz vorher eine Wasserhose verschwunden war, einen gekrümmten
Fig. 180. Schlauch b aus den Wolken herabhängen, dessen Spitze windwärts gebogen war. Unmittelbar darauf stieg aus dem Meere eine Wolke oder ein dichter Nebel c empor, auf welche sich der Schlauch bald nachher herabliefs und sich mit ihr vereinigte, wobei sie zugleich höher wurde und sich etwas mehr zusammenzog. Die demnach vollständige Wasserhose hatte die
Fig. 181. in der Zeichnung ausgedrückte Gestalt. Die Wolke a, von welcher der Schlauch herabhing, zog langsam fort, und vielleicht verursachte dieses die Krümmung des unteren Endes, welches zugleich nach unten stets dünner wurde, aber augenscheinlich dichter war, als die Wolke, aus welcher der Schlauch herabhing, ohne jedoch schwärzer zu seyn, als die Wolken häufig sind. Der aus dem Meere aufsteigende Nebel hatte dieselbe Farbe, als der Stengel, und glich auffallend dem aus einer Dampfmaschine aufsteigenden Rauche; die See unter der Trombe war während der ganzen Zeit in heftiger Bewegung, voll weifser Wellen, und zugleich hörte man ein Getöse wie von einem starken Wasserfalle. Von der Bildung des Stengels an, bis er den über dem Meere wallenden Fufs erreichte, mochten etwa 2 Minuten vergangen seyn; der Stengel fing dann an, sich in die Wolke wieder zurückzuziehn, von der er herabgekommen war, und in etwa 3 Minuten war alles vorbei, indem sich die Wolken zerstreuten. Buchanan schätzte die Entfernung auf mehr als 1 engl. Meile, statt dafs Andere sie nur $\frac{1}{4}$ engl. Meile und die Zeitdauer zu 10 Minuten annahmen; er gesteht aber zugleich, dafs diese Bestimmungen nur als ungefähre gelten können, auch bemerkte er selbst keine Bewegung im Schlauche, statt dafs seine Begleiter ein Auf-

---

sobald sich die Wasserhose trennt, steigt der aus Wasserdunst bestehende Schlauch in die Höhe, das Meerwasser aber sinkt herab.

1 Edinburgh Philos. Journ. N. X. p. 275. G. LXX. 104.

und Niedersteigen des Wassers in demselben wahrgenommen haben wollten. Das Schiff befand sich an diesem Tage unter 20° 45′ südl. Br. und 20° westl. L. v. G., das Wetter war seit mehreren Tagen veränderlich, der Wind wechselte häufig seine Richtung und Stärke, auch blitzte und donnerte es mehrmals, insbesondere am Abend vorher. Während der Dauer des Phänomens herrschte beim Schiffe ein gelinder Nordwestwind, allein der Zug der Wolken über der Wasserhose zeigte, daſs dort ein starker Südwestwind herrschen muſste.

Bei der oben angegebenen Beobachtung sah Buchanan zuerst den Schlauch entstehn und dann den Fuſs auf dem Meere gebildet werden; das Umgekehrte fand statt am 8ten Jan. 1789 unter 3° 38′ nördl. Br. und 135° 26′ östl. L. v. G., indem sich bloſs eine dampf- oder wolkenartige Erhebung a auf der Oberfläche des Meeres zeigte, wobei es in einiger Entfernung bei b regnete. Während die genannte Erhöhung auf dem Meere, die einem Schiffe ohne Masten und Segel ähnlich sah, sich erhielt, bemerkte einer der Beobachter einen Stengel, wie ein Ellbogen gestaltet, aus der Wolke hervortreten, allein dieser zog sich wieder zurück, die Erhöhung aber erhielt sich noch einige Zeit nachher, bis auch diese verschwand. Nach etwa einer halben Stunde zeigte sich aber eine vollständige Wasserhose von der in der Zeichnung ausgedrückten Gestalt an jener nämlichen Stelle. Es regnete, wie zuvor, bei b; der herabhängende Schlauch war überall scharf begrenzt, vom Winde etwas gebogen, lief unten in eine Spitze aus, und war in etwa 300 Fuſs Höhe dicht unter der Wolke etwas dünner, weil er zugleich noch an zwei Seitenarmen d und d hing. Seine Dichtigkeit glich der des Gewölkes; durch ein Fernrohr gesehn schien er hohl zu seyn, weil er in der Mitte heller aussah, als an den Seiten. Die vom Meere aufsteigende Wolke e, von etwa gleicher Dichtigkeit mit dem Schlauche, war scharf begrenzt. Nach etwa 10 Minuten wurde der Stengel lichter und das ganze Meteor verschwand; ein Geräusch wurde nicht wahrgenommen, vermuthlich weil die Entfernung, die nach Schätzung 6 engl. Meilen betrug, zu groſs war. Der Regen dauerte noch geraume Zeit fort, das Wetter war veränderlich, doch wurde den ganzen Tag kein Blitz und Donner wahrgenommen.

Fig. 182.

Fig. 183.

Endlich sah Buchanan den Fuſs einer Wasserhose im

Fig. 184. südlichen atlantischen Meere am 12ten April 1789, so nahe bei einem heftigen Regen, dafs dieser ihn fast einhüllte. Bald darauf bildete sich ein Schlauch, verschwand aber wieder auf 1 bis 2 Minuten, und senkte sich dann abermals aus einer ziemlich hohen Wolke herab. Er erreichte mit seiner Spitze ungefähr die Mitte zwischen der Wolke und dem Meere, war gebogen, und schien in der Mitte heller, als an den Seiten. Unter ihm war das Wasser in heftiger Bewegung und weifs, wie bei einem Wasserfalle; von dem Raume b aber, innerhalb dessen es bewegt wurde, stieg ein Schaum oder Nebel c auf, jedoch zu einer geringeren Höhe, als Buchanan früher dieses beobachtete. Ein Geräusch ward nicht vernommen, vermuthlich weil die Entfernung 3 engl. Meilen nach Schätzung betrug. Nach 2 bis 3 Minuten verschwand der Stengel, nachdem er vorher etwas lichter geworden war, entweder weil er sich in das Gewölk zurückzog oder weil er so dünn wurde, dafs man ihn nicht weiter erkennen konnte; das Wasser unter ihm blieb aber noch wenigstens 10 Minuten im Aufwallen. Zu bedauern ist hierbei, dafs ein so genauer Beobachter, als Buchanan, die Wettersäulen stets nur aus so grofsen Entfernungen sah.

Fig. 185.

18) Diesen Mangel ersetzt aber der Bericht, welchen Wolke[1] über die von ihm in gröfster Nähe gesehene Wettersäule mitgetheilt hat. Er beobachtete diese am 5ten Aug. 1796 auf einer Fahrt von Kronstadt nach Lübeck; sie glich einer aus dicken Wolken herabhängenden cylindrischen, nach unten etwas verjüngten Säule, und es schien, da sie nicht weiter als etwa 100 Schritt entfernt war, dafs die sie bildenden Tropfen schraubenförmig aufstiegen, während ebensolche auf gleiche Weise wieder niedersanken. Der Fufs der Säule schien auf einer grofsen kugelförmigen hohlen Schale zu ruhn und mit dieser fortzugleiten. Um den Rand der Säule kochte die See mit Heftigkeit empor, eine Menge gröfserer und kleinerer Wassermassen tanzten um sie, indem sie sich zugespitzt zu einer Höhe von 12 bis 16 Fufs erhoben, während andere wieder herabsanken. Ueber den tanzenden Spitzen schwebte eine leichte Wolke von Dünsten, erzeugt durch die heftige Bewegung des Wassers und von der Art, dafs man sich des Gedankens an ein mitwirkendes Feuer nicht erwehren konnte. So wie die

1 G. X. 482.

Säule näher kam, hörte man ein Getöse; sie stiefs an das Vordertheil des Schiffes mit solcher Gewalt, dafs dieses einen allgemeinen heftigen Schrecken erzeugte, welcher aber schnell vorüberging, da die Wettersäule in rascher Bewegung von vorn nach hinten über das Schiff rauschte und blofs einige sehr dicke Wassertropfen fallen liefs, zugleich aber einen merklichen Geruch verbreitete, welchen der Berichterstatter schweflig und salpetrig nennt. Das Schiff schien den Tanz der Spitzsäulen unterbrochen und den Umfang ihres Springplatzes verringert zu haben, denn sie erhoben sich nach Schätzung nicht mehr zu gleicher Höhe, als vorher. Den Durchmesser des aufkochenden Umfanges schätzt Wolke auf 130 Fufs, den der Säule auf 25 Fufs. Als die Sonne gegen sie schien, zeigte sie sich in der Mitte gelblich, an beiden Seiten dunkel. Merkwürdig war dabei, dafs unmittelbar nachher in gröfserer Entfernung noch fünf andere ähnliche Säulen erblickt wurden.

Uebrigens scheint die Gewalt, welche die Wettersäulen gegen Schiffe in sehr seltenen Fällen äufsern, nicht stets so gering zu seyn, als in dem eben erwähnten Falle; denn Chladni[1] erzählt nach glaubhaften Berichten, dafs einst auf der Ostsee eine Wasserhose, die man wegen des Regens nicht wahrnahm, mit grofser Heftigkeit gegen das Hintertheil eines Schiffes schlug. Der Stofs war so fürchterlich, dafs die in der Cajüte befindlichen Reisenden, auch zwei Matrosen, der gewöhnlich stark beschwerte Tisch u. s. w. über den Haufen fielen. Die Thür der Cajüte wurde durch die Gewalt der Wasserhose eingeschlagen, und es drang ein grofser Schwall von Wasser ein; aufser einigen Contusionen der Menschen und der Unordnung an Segeln, Tauwerk u. s. w. wurde kein Schaden angerichtet. Von ihrer grofsen Gewalt zeugt ferner eine Angabe von Catteau-Calleville[2], wonach im J. 1811 eine grofse Wasserhose von der Ostsee her auf Kopenhagen zu kam, über die Batterie der drei Kronen wegging, eine 30pfündige Kanone 1,5 Fufs weit verrückte und beim Zergehn eine Menge Sachen fallen liefs. Das mehrmals berichtete Ausschütten verschiedener Gegenstände, als Laub, Stroh, Heu, Früchte, Bretter, Balken u. s. w., kann nur beim Zergehn solcher Tromben statt finden, die eine bedeutende Strecke über dem Lande hin-

1 G. LXXIII. 108.

2 Gemälde der Ostsee. Deutsche Ueb. Weimar 1815. S. 122.

gezogen sind und daselbst, zahlreichen Erfahrungen gemäfs, solche Substanzen in die Höhe gehoben und fortgeführt haben; zugleich ist aber kaum zweifelhaft, dafs manche von der See und grofsen Flüssen kommende oder über Flüsse und Teiche hinstreichende Tromben Fische, Frösche und sonstige Wasserthiere aufheben, bis auf bedeutende Entfernungen fortführen und dann fallen lassen[1]. Unter andern erzählt Wolke[2] nach der Aussage eines glaubhaften Augenzeugen, dafs einst ein solches Meteor die Fische aus einem Weiher auf dem umgebenden Lande umherstreute.

Die sämmtlichen bisher beschriebenen Wasserhosen waren mit einem Fufse versehn, indem das Wasser des Meeres dem herabhängenden Ende des Schlauches entgegen gehoben wurde und aufbrauste, Colden[3] berichtet aber als Augenzeuge das Gegentheil, nämlich eine Vertiefung des Wassers. Auf einer Reise nach Westindien sah er eine Wasserhose in der Entfernung von 30 bis 40 Ruthen vom Schiffe. Sie bestand aus einem kegelförmigen Schlauche, dessen Basis in den Wolken hing, während die Spitze etwa 8 Fufs von der Meeresfläche abstand. Bei dem ruhigen Wetter ging das Meteor langsam bei dem Schiffe vorbei; aus ihm kam ein heftiger Windstrom, welcher ein Loch von etwa 6 Fufs Durchmesser auf der Oberfläche machte und das Wasser wie eine kreisförmige Falte um diese Vertiefung hob. Derselbe Beobachter sah noch mehrere Wasserhosen, deren keine aber das Wasser erreichte.

Es möge hier noch erwähnt werden, dafs Beechey[4] eine Trombe sah, bei welcher aus der nämlichen Wolke drei Schläuche dicht neben einander herabhingen. Sie waren ausnehmend lang und am unteren Theile aufserordentlich dünn, vereinigten sich einmal, trennten sich dann aber bald wieder[5],

1 Vergl. Art. *Regen*. Bd. VII. S. 1224.

2 G. X. 486.

3 Aus Franklin's Werken Th. II. S. 81 in Kämtz Meteorologie. Th. II. S. 547.

4 Voyage au détroit de Beering. T. I. p. 148.

5 Eine ausnehmend schöne Zeichnung derselben findet man in dem Atlas zu Becquerel Traité. Fig. 8. Hiernach glich jede derselben sehr der einfachen, welche Mercanton auf dem Genfer See sah (§. 19) und von welcher am dort anzuzeigenden Orte gleichfalls eine sehr saubere Zeichnung gegeben ist.

19) Da die Wettersäulen auf dem Meere und auf dem Lande nicht zu den ganz seltenen Phänomenen gehören, so läfst sich erwarten, dafs sie sich auch zuweilen auf Binnenseen zeigen, zugleich aber ist höchst wahrscheinlich, dafs nur die wenigsten derselben zur öffentlichen Kunde gelangen, weil diese Naturerscheinungen der Hauptsache nach sehr allgemein bekannt sind und nur dann eine specielle Beschreibung verdienen, wenn sie sich durch besondere Umstände auszeichnen, wobei es dann noch obendrein eines sachverständigen Berichterstatters bedarf. Meistens hört man daher erst dann, wenn durch ein abermaliges Erscheinen die Erinnerung geweckt wird, dafs sie schon früher beobachtet worden seyen. Uebrigens sind sie denen, die sich auf dem Meere zeigen, vollkommen gleich, doch schliefse ich aus den mir bekannt gewordenen Beschreibungen, dafs der Fufs bei ihnen nicht eine gleiche Höhe erreicht, was wohl ohne Zweifel eine Folge der geringeren Wassertiefe ist, denn nach Michaud (§. 13) nimmt auch bei den auf dem Meere sich zeigenden die Höhe des Fufses ab, sobald sie über minder tiefen Stellen ankommen. Es wird daher genügen, nur einige wenige Fälle hier namhaft zu machen.

Am 11ten Aug. 1827 zeigte sich auf dem Genfersee eine sehr interessante, vollständig ausgebildete Wasserhose, die Mercanton[1] nach eigener Ansicht und den Berichten anderer Augenzeugen genau beschrieben und durch eine getreue Zeichnung versinnlicht hat, mit dem Zusatze, dafs die Erscheinung dort für eine sehr seltene gelte. Der Himmel war mit gewitterartigen dunkelgrauen Wolken bedeckt, die sich schnell von West nach Südost bewegten, während die Oberfläche des Sees von einem Nordwestwinde nur leicht gekräuselt wurde. Ein Theil der Wolken aus ihrer Mitte senkte sich plötzlich vertical herab, nahm die Gestalt eines umgekehrten Kegels an, und zog durch seine röthlich-orangegelbe Farbe, die durch den Widerschein der letzten Sonnenstrahlen erzeugt wurde, die allgemeine Aufmerksamkeit um so mehr auf sich, je stärker sie gegen das düstere Aussehn der Wolken abstach. Der Kegel, welcher sich in einer Höhe von ungefähr 2000 Fufs über der Wasserfläche in den Wolken bildete, stürzte so schnell mit einer oscillato-

1 Biblioth. univ. T. XXXVI. p. 142. Mit einer sehr sauberen Zeichnung.

rischen Bewegung herab, dafs hierauf weniger als zwei Minuten vergingen. Die auf solche Weise gebildete lange Säule war konisch, am untern Theile aber so wenig, dafs sie cylindrisch und im Mittel von etwa 10 bis 12 Fufs Durchmesser zu seyn schien[1]. Im Augenblicke, als die Spitze das Wasser erreichte, entstand ein dem Kochen genau gleichendes Aufwallen, wobei die schäumenden Erhebungen eine gröfsere Höhe als 50 Fufs erreichten. Als die lange Säule durch den Wind getrieben wurde, glich sie einem durch den Luftzug bewegten Bande, wobei sie sich mit bedeutender Geschwindigkeit der Rhone näherte und bis zu einiger Entfernung über diesem Flusse hinstrich. Als das Aufwallen des Fufses eine kurze Zeit aufgehört hatte und demnächst wieder anfing, schlofs Mercanton, dafs sie sich über dem Bette der sogenannten alten Rhone befinden müsse, wo sich das Aufbrausen des Wassers wieder zeigte, bis sie an den Wolken unbeweglich festsitzend durch den Wind über dieses Bette hinausgetrieben wurde. Unmittelbar darauf verminderten sich die Dimensionen der Säule und sie verschwand bald, indem blofs die Basis in den Wolken noch einige Zeit sichtbar blieb. Ein in ihrer Nähe befindlicher Schiffer hörte das starke Geräusch, welches frappant dem Rauschen der Räder eines Dampfschiffes glich, wenn dieses die stark bewegten Wellen durchschneidet.

20) Von nicht minderem Interesse ist die Beschreibung einer Wasserhose, welche sich auf eben diesem See am 3ten Dec. 1832 zeigte und von Mayor, einem glaubhaften Augenzeugen, genau beobachtet wurde[2]. Gegen 8 Uhr Morgens sah er dieselbe in der Entfernung von einer Viertelstunde aus seinem Fenster; sie hatte das Ansehn einer Wassersäule von 60 bis 80 Fufs Höhe und etlichen Fufs Durchmesser, war breiter an ihrer Basis als an der Spitze, von grauer Farbe und dem Anschein nach in kreiselnder Bewegung. Mit ihrem unteren Theile ruhte sie auf dem Wasser, am oberen war sie gebogen; sie erhielt sich etwa zwei Minuten, ohne merklich von der Stelle zu rücken; darauf senkte sie sich allmälig herab und

1 Unter allen mir zu Gesicht gekommenen Zeichnungen finde ich keinen Schlauch von solcher Länge und verhältnifsmäfsig geringer Dicke.

2 Wartmann in Biblioth. univ. T. LI. p. 322.

löste sich in einen Regen auf. Wartmann bemerkt hierbei, dafs nach den Angaben in den Denkschriften der Pariser Akademie schon 1741 und 1764 solche Meteore auf dem See gesehn wurden.

Der Beschreibung nach bin ich geneigt, die hier erwähnte für keine eigentliche Wettersäule zu halten, bei der die Anwesenheit einer Wolke, ein eigentlicher Schlauch und der aufbrausende Fufs, alle drei mehr oder weniger vollkommen ausgebildet, wesentliche Bedingungen seyn dürften. Dagegen war in diesem Falle blofs eine Säule vorhanden, ohne den Fufs und ohne Wolke, vielmehr war der Himmel gleichmäfsig durch neblige Dünste umschleiert und keine eigentliche Wolke zeigte sich am ganzen Horizonte. In der Regel zieht sich der Schlauch der Tromben in die Höhe und der noch meistens einige Zeit nachher aufwallende Fufs kommt allmälig zur Ruhe, statt dafs im vorliegenden Falle die Säule von verhältnifsmäfsig nicht beträchtlicher Höhe sich allmälig ins Wasser herabsenkte. Nach meiner Ansicht war dieses Phänomen nichts anderes, als eine kleine, sehr zusammengedrängte Regenwolke, die sich herabliefs und ihren Inhalt in den See ausschüttete, nach Art derjenigen, die im Frühlinge zuweilen einzelne Striche benetzen, wobei der Umstand mitwirkte, dafs die Luft nur wenig bewegt war, weswegen die Wolke ruhig stehend sich ihres Inhalts entledigte. Auf gleiche Weise ist auch das von Howard[1] am 27sten Juni 1817 gesehene Meteor für keine eigentliche Wettersäule, sondern vielmehr für eine nahe begrenzte, ihren Inhalt schnell ausschüttende Regenwolke zu halten, wie solche häufig gesehn werden, die auf gewisse Weise einen Uebergang von gewöhnlichen Regenschauern zu den Tromben bilden, ohne den letzteren in wesentlichen Stücken gleich zu seyn. Es hatte bereits in Verbindung mit Blitz und Donner geregnet, aber im Augenblicke der Erscheinung war heiterer Himmel zwischen dicken Wolken. Aus einer von diesen senkten sich einige Male schlauchartige Kegel herab und zogen sich wieder zurück, bis der letzte derselben, welcher tiefer herabgekommen war, sich öffnete und aus ihm eine dichte Säule bis fast zur Erde herabsank, die als dichterer Körper noch ziemlich weit aufwärts in der Wolke sichtbar war. Auch dieser Kegel zog

1 Annals of Philos. 1817. Aug. — G. LVII. 219.

sich wieder in die Höhe, nachdem er sein Anhängsel verloren hatte, und es folgten ihm noch einige andere. Aus der Ferne gesehn, wie dieses bei den Berichterstattern der Fall war, konnte man das Meteor allerdings für eine Wettersäule halten, und einige Aehnlichkeit damit war auch unverkennbar vorhanden; wir müssen sie aber dennoch von dieser Classe ausschliefsen, weil ein Beobachter sie über einem Baume hingehn sah, unter welchem er stand, ohne von den wesentlichen Wirkungen der Tromben irgend etwas anderes, als die ohnehin gar nicht nothwendige, nämlich das Herabfallen eines starken Regens, wahrzunehmen.

21) Ganz eigentlich zur Classe der Wasserhosen gehören dagegen diejenigen, welche ein mit den physikalischen Gesetzen hinlänglich vertrauter glaubhafter Beobachter, Lachmann in Constanz, am 26sten Juni 1833 auf dem Bodensee
Fig. 186. sah und durch eine getreue Zeichnung versinnlichte. Das Phänomen ist um so auffallender, da sich gleichzeitig zwei, eine grofse und eine kleine, dicht neben einander zeigten. Es war Abends 6 Uhr 45 Min., als er das Meteor in SO. von Constanz aus erblickte. Während der Erscheinung stand das Barometer[1] auf 322 Lin., das Thermometer auf 29°,4 C., die Luft zeigte sich bedeutend elektrisch, Gewitterwolken zogen den ganzen Nachmittag über den See, und selbst während der Erscheinung blitzte und donnerte es unter starken Regenschauern an der entgegengesetzten Seite[2]. Beide Wasserhosen entstanden gleichzeitig, doch verschwand die kleinere b schon wieder nach 3 Minuten, die gröfsere a verschwand auch beinahe ganz nach 5 Minuten, bildete sich dann aber schnell wieder, dauerte noch etwa zwei Minuten und verlor sich in einen starken Regengufs, der die ganze Gegend einnahm. Die Bewohner der Stadt behaupteten, es seyen schon früher solche Meteore auf dem Bodensee wahrgenommen worden, es fand sich aber keine Nachricht von einer bestimmt gemachten Beobachtung

---

1 Die Höhe von Constanz wird zu 1180 Par. F. über der Meeresfläche angegeben.

2 In meinem Tagebuche finde ich aus öffentlichen Blättern notirt, dafs am 28sten dieses Monats eine starke Landtrombe zu Patschkau bei Neifse Linden von 2 Klaftern im Umfange zerbrach, eine Menge Dächer und Häuser beschädigte und 17 Besitzungen verwüstete. Auch hier in Heidelberg sah ich Abends am 25sten starkes Wetterleuchten.

und von irgend einem Augenzeugen, welcher sie selbst gesehn zu haben versichern konnte.

Die hier angegebene Eigenthümlichkeit, wonach die Schläuche dieser beiden Wettersäulen nach oben verjüngt zuliefen, finde ich aufserdem noch einmal bei einer erwähnt, welche Wild[1] am 1sten Nov. 1793 auf dem Genfersee beobachtete. Sie zeigte sich mitten auf dem See, rechts und links von derselben schneite es, hinter ihr waren die Berge in dichte schwarze Wolken gehüllt, die sich über den See herzogen und aus denen die dicke, schwarzgraue Säule sich herabsenkte, die einzeln und allseitig so scharf begrenzt da stand, dafs man sie hätte für eine feste Masse halten können. Der Fufs war am meisten durchscheinend, kaum sichtbar, und hatte ganz das Ansehn eines aufsteigenden, fast aufgelösten Dunstes; das schäumende Wasser des Sees spritzte bis auf eine Höhe, die Wild auf 100 Fufs, aber, wie er meint, noch zu gering, schätzte, auch war dieses der schönste Theil des Meteors. Die Entfernung vom Beobachter betrug 18000 Fufs und diesemnach der Durchmesser der aufspritzenden Wassermasse 315 Fufs, die ganze Höhe der Säule aber 2000 F., alles nach möglichst genäherter Schätzung. Zur genaueren Beobachtung diente ein kleiner Dollond, weil die Zeit nicht gestattete, ein gröfseres Fernrohr aufzustellen, denn das Meteor verschwand drei Minuten nach der ersten Wahrnehmung desselben, und zwar so schnell, dafs binnen einer halben Minute die letzten Spuren desselben verwischt waren. Während dieser Auflösung der Säule zeigten sich einige Dünste, aber so schnell vorübergehend, dafs Wild nur die über der Wasserfläche wahrnahm. Das Barometer stand 5 Lin. unter seinem Mittel und das Thermometer zeigte 7° C. Pictet bemerkt hierbei, Wettersäulen seyen auf dem Genfersee selten; auch ist er nicht geneigt, der Elektricität einen Einflufs auf ihre Bildung einzuräumen, mehr den eigenthümlichen Winden, die den See treffen.

22) Auch über grofsen Flüssen entstehn Wettersäulen. Eine solche, die aber nicht dem Flusse allein zugehörte, sondern auch auf dem Lande Verwüstungen anrichtete, wurde am 2ten Juli 1785 in der Gegend von Altona gesehn[2]. Dem

1 G. VII. 70 aus Journ. de Phys. T. I. p. 39.
2 Gotha'sches Magazin. Bd. III. St. 3. S. 178.

Berichte nach liefs sich gegen 6 Uhr Abends unweit Banners-dorf eine Wolke, wie ein zugespitzter Schlauch, auf die Elbe nieder, schwankte einige Male hin und her, vereinigte sich dann mit dem Wasser und zog es in die Höhe. In einiger Entfernung senkte sich eine andere Wolke gleichfalls wirbelnd herab, schwankte über zehnmal hin und her und erzeugte zuletzt eine Vertiefung im Wasser, dafs man fast bis auf den Grund des Flusses sehn konnte. Nach etlichen Minuten rissen sich diese Tromben wieder vom Wasser los, liefsen das aufgehobene in den Flufs zurückfallen, zogen sich wirbelnd über die Stadt, richteten an Fenstern und Dächern, über welche ihr Zug ging, beträchtlichen Schaden an, warfen einige Bäume um, und verloren sich endlich aus dem Gesichte. Auf einer etwas entfernten Bleiche ergriff der Wirbelwind die daselbst liegenden Cattune, führte sie, ungefähr 50 Stücke, zusammengerollt in die Luft und zerrifs mehrere derselben.

Blofs auf das Wasser beschränkt war dagegen eine Trombe, die nach Dunbar's Berichte[1] auf dem Mississippi gesehn wurde. Die aus der Wolke herabhängende Säule machte einen ziemlich grofsen Winkel mit der lothrechten Linie und das untere Ende derselben blieb während der ganzen Dauer der Erscheinung an demselben Orte unbeweglich stehn. Es war wohl nicht Folge der langsamen Bewegung des Schlauches, wie hier angegeben wird, sondern stimmt mit dem allgemeinen Verhalten dieser Meteore überein, dafs der Schlauch sich in zwei Theile theilte, wovon der kürzere in den Flufs herabfiel, der längere sich in die Wolken zog und darin zerstreute.

Noch eine Erzählung möge hier Platz finden, die von vorzüglicher Wichtigkeit ist, weil sie von einem sehr bewährten Physiker herrührt. Brandes[2] beschreibt die von ihm am 5ten Juli 1810 am Ausflusse der Weser beobachtete Wasserhose. Sie ging ziemlich quer über den Strom, war aber nur wenige Augenblicke in ihrer Vollkommenheit sichtbar, weil eine niedrige Wolke oder ein Dunst bald nachher einen Theil derselben verbarg. Nach den Schätzungen, die der übrigens geübte Beobachter aus Bescheidenheit nur für genähert ausgiebt,

1 Philos. Trans. of the Amer. Soc. of Philad. T. VI. p. 1.
2 G. XXXVI. 404.

betrug die Entfernung etwa eine kleine halbe Meile; aus dem Wasser stieg ein starker Dunst auf, in welchen sich der Schlauch sehr tief, wahrscheinlich bis auf den Wasserspiegel, herabsenkte. Die Wolke war 1000 Fufs hoch und wohl noch bedeutend darüber, der obere Durchmesser des herabhängenden Kegels 100 Fufs, etwas unter der Mitte 25 Fufs, weiter herab glich der untere Theil eher einem Wasserstrahle, als einem Kegel; die Luft war gewitterhaft, doch zur Zeit des Phänomens kein Gewitter in der Nähe, und der Wind gerade in diesem Augenblicke gelinder, als vorher und nachher.

23) Die bisher mitgetheilten Thatsachen liefsen sich noch bedeutend vermehren, doch sind sie gewifs genügend, um nicht blofs die wesentlichsten Erscheinungen zu überblicken, sondern auch die Ueberzeugung hervorzurufen, dafs es ausnehmend schwer seyn würde, wie Kämtz sehr richtig bemerkt, alle bei den Wettersäulen vorkommende Einzelheiten sachgemäfs und vollständig zu erklären. Inzwischen hat Becquerel[1] eine von Peltier verfafste Zusammenstellung aufgenommen, welche sehr dazu dient, die Uebersicht alles dessen, was sich auf diese Meteore bezieht, zu erleichtern und die Aufgabe in ihrem ganzen Umfange deutlicher vor Augen zu stellen. Es wird zweckmäfsig seyn, aus dieser den wesentlichsten Inhalt hier mitzutheilen.

Voran geht eine m grofsem Fleifse zusammengesuchte Tabelle von 116 bekannt gewordenen Tromben, von denen 60 dem Lande und 56 dem Meere zugehören. Unter den letzteren ist die älteste diejenige, welche Thevenot[2] im Jahre 1664 bei der Insel Kesomo sah, wobei zugleich mehrere gleichzeitig und kurz nach einander sichtbar wurden; unter den ersteren wird diejenige als die älteste aufgeführt, welche nach der Erzählung von Machiavel[3] und Ammirati[4] am 22sten oder 24sten August 1456 im Florentinischen beobachtet wurde. Kann gleich diese Tabelle auf absolute Vollständigkeit keine Ansprüche machen[5], worauf es ohnehin nicht ankommt, so ist sie

1 Traité expérimental de l'Électricité cet. T. V. p. 184 ff. Par 1840.

2 Voyage dans la Levante. T. II. p. 359.

3 Historia Florent. Lib. VI.

4 Historia Florent. Lib. XXIII.

5 Es sind oben einige angegeben worden, die man in diesem Ver-

doch reichhaltig genug, um die Ueberzeugung herbeizuführen, dafs keine wesentlichen Modificationen dieser Phänomene übersehn worden sind. Eine Zusammenstellung des Gemeinsamen führt dann zu folgenden Resultaten. Unter 116 Tromben zeigten 11 auf der See und 18 auf dem Lande, im Ganzen 29, eine kreiselnde Bewegung, bei 22 dagegen, und zwar 9 auf dem Meere und 13 auf dem Lande, zeigte sich gar keine innere Bewegung. Von leuchtenden Erscheinungen, Blitz und Donner, waren 41, und zwar 16 zur See, 25 zu Lande, begleitet; 10 führten die aufgehobenen Gegenstände der Windrichtung entgegen; 16 endigten mit Hagel, und zwar 7 zur See, 9 zu Lande; 6 verschwanden in einer Atmosphäre ohne Wolken, ohne irgend einen Schaden anzurichten. Unter den Wasserhosen schütteten 3 süfses Wasser auf die Schiffe, obgleich das Seewasser in ihnen aufzusteigen schien; bei 15 Wasserhosen sah man das Wasser aufsteigen, bei 8 niedersinken; 2 Wettersäulen verbanden eine obere Wolke mit einer untern; bei 8 wurde ein schwefliger Geruch wahrgenommen; in 6 Fällen zeigten sich mehrere Wettersäulen gleichzeitig; 34 endlich boten singuläre Erscheinungen dar, z. B. die von Buchanan gesehene (§. 17, Fig. 183), welche oben an 3 Schläuchen aus der Wolke hing, und die zu Carcassonne (§. 3), welche die Platten eines Fufsbodens aufrifs, ohne die umstehenden Gegenstände irgend zu verletzen. Das Geräusch endlich, welches die Wettersäulen erregen, ist nach ihrer Natur verschieden, im Allgemeinen stärker bei denen zu Lande, als bei denen auf der See.

24) In Beziehung auf die Theorie zählt Peltier 30 Autoritäten auf, unter denen 19 die Ursache in der Luftbewegung, 8 in der Elektricität, 2 in unterirdischen Aufbrausungen suchen, einer endlich die Erscheinungen blofs für einen heftigen Platzregen hält. Auf die letzte Hypothese einzugehn, die von Eeles[1] herrührt, verlohnt sich gewifs der Mühe nicht, da

zeichnisse nicht findet, auch können diejenigen, welche als die zuerst beobachteten angegeben werden, schwerlich als solche gelten, da namentlich die typhonartigen Sturmwinde schon im Alterthume bekannt waren.

1 Philos. Trans. 1755. T. XLIX. p. 147. Es ist auffallend zu lesen, dafs er selbst nie eine gesehn und von Schiffern, die weite Reisen in allen Meeren gemacht hatten, gehört haben will, es sey ihnen nie eine zu Gesicht gekommen.

wohl die Mehrzahl der Wettersäulen mit gar keinen wässerigen Niederschlägen verbunden sind; die Meinung aber, die von Lemery[1] und Buffon[2] herrührt, wonach die Ursache der Wettersäulen in unterirdischen Aufbrausungen liegen soll, läfst sich schon leichter durch scheinbare Gründe unterstützen, auch ist oben einige Male bemerkt worden, dafs die Beobachter der Wasserhosen so leicht auf die Idee kommen, das Aufwallen der See sey eine Folge unterirdischen Feuers. Allerdings scheint ein unwiderlegliches Argument hiergegen darin zu liegen, dafs fast alle Tromben mit der Bildung eines Schlauches beginnen, welcher vielmehr von den Wolken zur Erde herabsinkt; allein dieser Einwurf läfst sich mindestens entkräften, wenn man die Phänomene so deutet, als stiegen sehr heifse Dämpfe aus der Erde auf, die sich bis zu den Wolken erhöben, wo dann durch Abkühlung ein Niederschlag entstände, welcher in den Wolken beginnend sich nur scheinbar zur Erde herabsenkte. Obgleich diese Darstellung einigen Schein für sich hat, so ist doch die Gesammtheit der Erscheinungen, welche die Wettersäulen darbieten, von der Art, dafs man sie unmöglich mit dieser Hypothese in Einklang bringen kann. Ohne uns daher hierbei länger aufzuhalten, wollen wir nur die beiden vorzüglichsten Theorieen und ihre wichtigsten Vertreter berücksichtigen, was dann zu dem Resultate führen wird, dafs unter gewissen Modificationen beide vereint wohl zur Erklärung der wesentlichsten Phänomene mindestens beitragen können.

25) Nach der ältesten *mechanischen Hypothese* werden die Wettersäulen durch Winde erzeugt, allein die eigenthümliche Art, wie dieses geschehn soll, wird verschieden angegeben. Stuart[3] und Andoque[4] haben diese, zu ihrer Zeit ohne Zweifel allgemein herrschende Ansicht veröffentlicht. Hiernach sollen parallele Winde eine Wolke zwischen sich zusammenpressen und in eine rotatorische Bewegung versetzen; allein den Tromben gehn in der Regel Windstillen voraus, und in vielen Fällen herrscht in geringer Entfernung von ihnen vollkommene Windstille, nicht zu gedenken, dafs die zu Blanke-

---

1 Cours de Chimie.
2 Hist. Natur. 1re Part.
3 Philos. Trans. T. XXIII. p. 1077.
4 Hist. de l'Acad. des Sciences. An 1727. p. 5.

fort (§. 3) sich gar nicht von der Stelle bewegte, und ihre Verheerungen anrichtete, während rund umher völlige Windstille herrschte. Inzwischen fand diese Hypothese bedeutenden Anklang durch den allgemein als Autorität geltenden gelehrten Physiker Musschenbroek[1], welcher die älteren Nachrichten sammelte und im Jahre 1715 selbst aus einer Entfernung von nicht mehr als 30 Fufs eine solche beobachtete, die ein Getöse wie das stark bewegte Meer oder wie schwere Lastwagen auf einem Steinpflaster verbreitete und in kreiselnder Bewegung alles mit sich fortrifs. Dafs auch um dieselbe die Luft bewegt war, mochte ihn in seiner vorgefafsten Meinung bestärken. Hiernach ereignet es sich zuweilen, dafs zwei Winde in parallelen, aber einander entgegengesetzten Richtungen wehend eine oder mehrere zwischen ihnen liegende Wolken zusammendrücken, einige Theile derselben durch Zusammenpressen in Wasser verwandeln und sie selbst in eine heftig kreiselnde Bewegung versetzen. Unterdefs nehmen die Winde selbst mit der Wolke, die sie aufwärts in einem gröfseren Umfange umkreisen, eine drehende Bewegung an; die umgedrehte Wolke, in einen runden Schlauch verwandelt, senkt sich, zur Gestalt eines eigentlichen Regenschauers verdichtet, durch ihr Gewicht von der Höhe herab und bildet eine sich schnell drehende runde oder konische Säule, wie er selbst wahrnahm, die mit ihrem oberen Theile an der Wolke festhängt.

Hiergegen läfst sich indefs erinnern, dafs unmöglich, wenn eine solche Säule durch ihr eigenes Gewicht herabsinkt, das Meerwasser ihr von unten nach oben entgegenkommen könne, was doch unbezweifelt aus vielen Berichten hervorgeht; denn schon Dampier erzählt, dafs 1674 an der Küste von Guinea eine Trombe dicht beim Schiffe zerplatzte und das erhobene Wasser, wie eine schwere Last, ins Meer fallen liefs. Allerdings wurde hierbei das Schiff durch einen momentanen Windstofs auf die Seite geworfen, allein dieser verging augenblicklich wieder. Inzwischen fand die Hypothese unter geeigneten Modificationen vielseitige Unterstützung, ohne Zweifel hauptsächlich um deswillen, weil so viele Tromben unverkennbar eine rotirende Bewegung zeigen. Diese kreiselnde Bewegung

1 Introductio ad Phil. Nat. T. II. p. 1010. §. 2381 ff.

könnte allerdings zur Erklärung vieler Wirkungen dienen, welche die Tromben zeigen, sobald man dieselbe nur als hinlänglich schnell annimmt; mehreres andere nicht gerechnet bleibt aber stets eine fühlbare Lücke, indem die Existenz eines solchen Luftwirbels blofs angenommen, nicht aber die Aetiologie seines Ursprungs nachgewiesen wird. Musschenbroek denkt sich zwei parallele Winde in entgegengesetzter Richtung wehend, die eine stillstehende Wolke auf gleiche Weise zwischen sich rollen, als wenn man einen Körper zwischen zwei Bretern rollt. Die Vorstellung enthält keinen innern Widerspruch, allein nirgend hat man von diesen Winden irgend eine Spur entdeckt. Auf eine wirbelnde Bewegung der Luft führt auch Boscovich[1] die Wettersäulen zurück, und ebenso Franklin[2], welcher sich dabei auf die Erzählung eines Wallfischfängers von Nantucket stützt. Dieser erzählte ihm, dafs einst drei Schiffe ein gleichseitiges Dreieck bildeten, dessen Seiten ungefähr eine engl. Meile betrugen. Als einige Zeit eine Windstille geherrscht hatte, die sie stillzuliegen nöthigte, gewahrten sie gerade in der Mitte dieses Dreiecks eine Wasserhose; zugleich erhob sich ein kühler, lebhafter Wind, wodurch die Segel aller drei anschwollen. Sowohl aus der Segelfaltung, als auch aus der Richtung ihrer Schiffe merkten sie, dafs sie gleichzeitig die Trombe unter dem Winde hatten, welches sie sich wechselseitig zuriefen, da sie hierzu nahe genug waren. Auch Oliver[3] leitet die Erscheinung von der dichteren Luft her, die in einen Ort, wo vorher Windstille und grofse Hitze herrschte, plötzlich von allen Seiten her einströmt. Sobald diese Ströme den Punct ihres Zusammenstofsens erreichen, wird die sämmtliche stockende und verdünnte Luft, die vorher ruhig war, von der Stelle getrieben und genöthigt, in die Höhe zu steigen. Wenn dann die Ströme schief eindringen, so wird dieses schneckenförmig geschehn und von weitem das Bild eines umgekehrten Sprachrohrs zeigen. Dagegen sucht Perkins[4] die Wasserhosen durch ein Herabstürzen des Wassers aus den

1 Sopra il Turbine cet. Rom 1749. Hamburger Magaz. Th. X. S. 523.

2 Werke. Th. II. S. 32. In Kämtz Meteor. Th. II. S. 546.

3 Philos. Trans. of the Amer. Soc. held at Philad. T. II. 1786. p. 101.

4 Ebendaselbst p. 334.

Wolken zu erklären. Wenn Oersted, wie wir später sehn werden, die Luftwirbel eine aufwärts gerichtete Bewegung annehmen läfst, so hält auch Prudhomme[1] zwar die veränderlichen Winde, die durch ihr Zusammenstofsen Luftwirbel erregen, für die erste Ursache, allein in Folge der dem Körper der Wettersäule mitgetheilten Rotation soll sich die Luft gegen die Erde drängen und dann erst mit Gewalt wieder zurückgestofsen werden, woraus sich das Abdecken der Häuser und das Ausreifsen der Bäume erklären lasse. Eine solche kreisförmige Bewegung mufs, nach seiner Ansicht, in der Gegend der Axe nothwendig eine Leere oder eine starke Verdünnung der Materie verursachen, weil die Schwungbewegung alle Theile nach dem Umkreise treibt und daher durch eine Art von Aufsaugung alle leichte und bewegliche Körper in die Höhe führt. Die Elektricität ist zwar allezeit Begleiterin der Wettersäulen, allein sie ist vielmehr als ein Erzeugnifs derselben und nicht als Ursache zu betrachten, und bewirkt, dafs aus ihnen nach allen Seiten kleine Wolken ausgehn und Blitze von sich schleudern.

26) Uebergehn wir diejenigen Gelehrten, welche sich nur in der Kürze beifällig über diese Hypothese äufsern, die etwas ausführlicher von Defrance[2] und Lamark[3] behandelt wird, so verdient auf jeden Fall noch der Graf Xavier de Maistre[4] genannt zu werden, welcher dieselbe durch eigens angestellte Experimente zu begründen sich bemüht hat. Zuerst nahm er
Fig. 187. ein cylindrisches Glas von 10 Zoll Höhe und 4 Zoll Durchmesser, gofs 2 Zoll hoch Wasser hinein, darüber Mohnöl, und senkte dann in dessen Oberfläche eine Mühle aus zwei Bretchen von 2 Zoll Höhe und 1,5 Zoll Breite hinab, die sich durch eine Kurbel umdrehn liefs. Sobald diese Mühle ungefähr zweimal in einer Secunde umgedreht wurde und dieses etwa eine Minute gedauert hatte, drehte sich das Wasser am Boden, erhob sich in Kegelform, und stieg in einer kleinen

1 Esprit de Journaux. 1789. Fevr. Gotha'sches Magaz. Th. V. St. 4. S. 90.

2 Dict. des Sciences nat. Art. *Trombe.*

3 Annuaire météorol. 1807.

4 Bibliothèque univ. de Génève. T. III. p. 226. Silliman Amer. Journ. of Sc. T. XXV. p. 47.

Säule bis an die Mühle empor. Diese kleine Trombe hatte etwa 2 Linien im Durchmesser, das bis in die Flügel der Mühle aufgesogene Wasser aber wurde seitwärts getrieben und sank am Rande in spiralförmigen Bahnen hinab, doch so langsam, dafs alles Wasser auf diese Art aufgesogen wurde. Das mit Wasser vermengte Oel verliert indefs bald seine Durchsichtigkeit, und DE MAISTRE wählte daher ein anderes Verfahren. Er füllte ein Cylinderglas von 2 Fufs Höhe und 9 Zoll Durchmesser mit Wasser und warf eine Unze grob pulverisirten Copal hinein, welche Substanz, nur wenig specifisch schwerer als Wasser, alle Bewegungen leicht sichtbar macht. Die gröbsten Stücke lagen unten, die feinsten schwebten im Wasser. Durch das Drehen des Rädchens stiegen die in der Axe befindlichen aufwärts, die seitwärts befindlichen näherten sich in Spirallinien der Mitte, und so ging es in den einzelnen Schichten abwärts, bis sich die Bewegung den niedergefallenen Stücken mittheilte, die dann eine Trombengestalt bildeten, deren Dicke jedoch 6 bis 7 Linien betrug und die bis zur Mühle aufstieg. Um die Bewegung der einzelnen Theilchen zu beobachten, dienten einige Stückchen Schellack, die durch ihre rothe Farbe leicht kenntlich waren. Man sah sie im Centrum aufsteigen, indem sie sich schnell umdrehten und eine sehr längliche Schraubenlinie durchliefen; die Mühle warf sie zur Seite und sie sanken langsam zu Boden, von wo aus sie ihre anfängliche Bewegung wieder begonnen. Die kleine Säule in der Mitte hatte eine schnellere rotirende Bewegung, als die Mühle selbst, und einige gröfsere Copalstücke, so wie einige Fliegen stiegen in einander nahen Schraubengängen langsam in die Höhe. Waren alle Stücke vom Boden aufgestiegen und hörte dann die Bewegung der Mühle auf, so legte sich der gesammte Staub in der Mitte in Gestalt eines Kegels nieder.

DE MAISTRE kehrte das Verfahren um und brachte die kleine Mühle über dem Boden des Glases an, wie aus der Zeichnung hinlänglich deutlich wird. War die kleine Mühle Fig. 188.
eine kurze Zeit lang um ihre Axe gedreht, so erhielt die Oberfläche des Wassers eine konische Vertiefung, welche sich zunehmend verlängerte und mit ihrer Spitze endlich die Mühle erreichte; kleine Luftblasen trennten sich von dieser Spitze, ehe sie völlig herabgesunken war, bis die spindelförmig gestaltete Luft die ganze Länge des Gefäfses eingenommen hatte

und dabei ein fortdauerndes zischendes Geräusch erzeugte. Die Luft an der Spitze trennte sich zwischen den Flügeln der Mühle in einzelne Blasen, die dann zur Seite geworfen wurden und regelmäfsig an den Wandungen des Glases aufstiegen. Kleine und leichte Körper, als Korkstückchen u. s. w., wurden in den Strudel hinabgezogen; man konnte sie aber auch durch gehörige Regulirung des Umdrehens in ihren verschiedenen Lagen ruhig erhalten. Dafs ähnliche Strudel auf Meeren und Flüssen, welche Schiffe und Schwimmer in die Tiefe herabziehn, durch gleiche Ursachen erzeugt werden, ist eine sehr bekannte Sache. Befand sich auf der Oberfläche des Wassers eine Schicht Oel, so bildete sich daraus eine ähnliche herabhängende Spindel, und zwar schon durch eine viel langsamere Drehung; ist aber die Oelschicht nicht dick und wird die Geschwindigkeit der Drehung verstärkt, so bildet sich in der dann hohl werdenden Spindel von Oel eine andere von Luft, deren Spitze jedoch niemals die Mühle erreicht, was DE MAISTRE von der geringeren Adhäsion der Luft an das Oel, als an das Wasser ableitet.

Beide eben beschriebene Modificationen des Versuches wurden in einem dritten vereinigt, wobei die kleine Mühle in der Fig. 189. Mitte angebracht oder vielmehr durch ein kleines Parallelogramm von gefirnifstem Kartenpapier ersetzt war. Auf den Boden des mit Wasser gefüllten Glases wurde eine Lage zerstofsenen blauen Glases geworfen, auf seine Oberfläche aber eine Schicht Oel gegossen. Nachdem der Stab, an welchem das Parallelogramm in der Mitte fest safs, einige Male umgedreht war, zeigten sich zwei spindelförmige Schläuche, einer herabgehend, der andere aufsteigend, und beide wurden durch fortgesetztes Drehen vollständig ausgebildet.

Es bedarf keiner künstlichen Vorrichtung, um der Luft im Wasser eine solche spindelförmige, den Schläuchen der Wasserhosen frappant gleichende Gestalt zu geben, sondern hierzu genügt ein gemeiner, etwas langer Trichter. Senkt man diesen mit seiner Spitze abwärts so tief ins Wasser, dafs sein Rand etwa eine halbe Linie unter die Oberfläche desselben hinabreicht, giebt man hierauf durch Herumfahren oben am innern Rande des Trichters mit einem Glasstabe dem Wasser eine rotirende Bewegung und hebt man darauf den Trichter in die Höhe, so bildet sich augenblicklich die spindelförmige Figur,

die unter günstigen Umständen eine Länge von 2 bis 5 Zoll erreicht. De Maistre folgert inzwischen aus seinen Versuchen, dafs eine herabsteigende Trombe entstehn kann, wenn der Wirbel sich unten befindet, und eine aufsteigende, wenn er oben vorhanden ist, oder beide zugleich, wenn er zwischen oben und unten die Mitte hält, und dafs die Resultate dieser Versuche mit dem, was uns die Natur im Grofsen zeigt, die auffallendste Aehnlichkeit haben. Bei den aufsteigenden Tromben hat der Wirbel seinen Sitz in den Wolken, und seine Wirkung, begünstigt durch die unten herrschende Ruhe, sinkt allmälig bis zum Meere herab; bei den herabsteigenden befindet es sich zwischen den Wolken und dem Meere, nahe über diesem.

Inwiefern noch verschiedene Einzelheiten angeführt werden, um die auffallende Aehnlichkeit zwischen den auf die angegebene Weise künstlich erzeugten Tromben und denen nachzuweisen, welche durch die Natur im Grofsen hervorgebracht werden, bedarf wohl keiner näheren Anzeige, denn bei unverkennbar vorhandener Aehnlichkeit im Allgemeinen lassen sich solche Einzelheiten leicht auffinden. Inzwischen glaubt de Maistre durch diese Versuche bewiesen zu haben, dafs die Ursache der Wettersäulen rein mechanisch sey und dafs die blofse Bewegung der Luft in den Wirbelwinden zu ihrer Hervorbringung genüge. Dabei dürfe aber nicht gefolgert werden, dafs die Elektricität nicht gleichfalls eine entfernte Ursache sey, da dieses Agens möglicher Weise zur Erzeugung der Wirbel und der Winde überhaupt viel beitragen könne. Genau genommen hat aber de Maistre den wichtigsten Einwurf nicht geahnet oder mindestens ihn auf keine Weise erledigt. War es seine Absicht, die unter vielfachen Modificationen sich zeigenden Wettersäulen künstlich nachzubilden, so genügte es nicht, Wasser oder Oel in drehende Bewegung zu versetzen und dadurch die schlauchartigen Formen der Luft als einer viel leichteren Flüssigkeit oder anderer wenig specifisch schwererer Körper hervorzubringen, die eigentlich blofs durch die Drehungen des Wassers in die Höhe gehoben oder herabgezogen wurden, sondern er mufste die Luft selbst wählen und dann versuchen, ob er durch diese das Wasser auf eine ähnliche Weise anzuheben vermöge, als dieses in der Natur bei den Wasserhosen geschieht. Wäre ihm dieses gelungen, so könnte

dann erst von einer eigentlichen, vollständigen Nachbildung der Tromben die Rede seyn; allein dieses liegt sicher aufser dem Bereiche der Möglichkeit, und somit ist durch die erwähnten Versuche im Ganzen nicht viel gewonnen. Wir werden später auf diesen Gegenstand wieder zurückkommen.

27) Nur als eine kurze Andeutung kann dasjenige gelten, was Ogden [1] nach eigener Beobachtung einiger Wasserhosen (§. 16) zur Erklärung derselben vorbringt. Hiernach soll ein heifser, mit Wasserdampf überladener Luftstrom aufsteigen, worin sich die enthaltenen Dämpfe allmälig verdichten, so wie sie sich in die kälteren Regionen erheben. Diesemnach mufs der Niederschlag zuerst in den höheren Regionen gebildet werden, und die elektrischen Erscheinungen, die man hierbei, wie bei den Ausbrüchen der Vulkane, wahrnimmt, sind dann als Folge dieser Condensation zu betrachten. Auch Napier [2], gestützt auf eigene Beobachtungen (§. 16), stellt zwar keine vollständige Theorie der Wettersäulen auf, inzwischen geht aus seinen Aeufserungen genügend hervor, dafs er sich ausschliefslich zur mechanischen Hypothese bekennt. Wenn mehrere entgegengesetzte Winde nach einem Puncte mit ungleichen Kräften blasen, so müsse eine um einen centralen Raum laufende Bewegung entstehn, was man gewöhnlich einen Wirbelwind nennt. Dieser Raum müsse in Folge des ungleichen Druckes durch die entstehende Wärme so sehr verdünnt werden, dafs er einem luftleeren nahe komme; der Druck der äufseren Atmosphäre auf die Basis treibe dann das Wasser in diesem Raume zu einer bedeutenden Höhe, und demnächst führe die mechanische Wirkung des Windes dasselbe in dünnen, unzusammenhängenden Streifen empor, während der äufsere Luftdruck den inneren Raum stets wieder fülle. Auf diese Weise werde der Schlauch gebildet, das zur Wolkenregion erhobene Wasser breite sich dort aus und nehme an Umfang und Dichtigkeit zu, bis die schwerere Wolke wieder herabsinke und sich in Regen auflöse. Hiergegen findet aber der unmittelbar folgende Einwurf statt, dafs dann das Wasser aus den Tromben auf dem Meere gesalzenes seyn müfste.

---

1 Amer. Journ. of Science. Jan. 1836. Bibl. univ. de Génève. T. III. p. 159.

2 Edinb. Philos. Journ. N. XI. p. 95. G. LXXIII. 104.

28) Es läſst sich erwarten, daſs Kämtz[1] bei seiner gründlichen Untersuchung aller meteorologischen Phänomene auch dieses Problem einer genauen Prüfung unterworfen habe, deren wesentlicher Inhalt hier nicht fehlen darf. Nach den Erscheinungen des Aufsteigens der Luft in Canälen hält er es für möglich, die Entstehung der Wirbelwinde hierauf zurückzuführen. Wenn das Wasser schnell verdunstet, während die warme Luft in die Höhe steigt, so kann in Folge des aufgehobenen Gleichgewichts ein kalter Luftstrom in die Tiefe herabsinken. Weht oben ein Wind nach beliebiger Richtung, so bewegt sich die herabsinkende Luftmasse nach eben derselben, und das Zusammentreffen dieser mit der ruhenden Atmosphäre in der Tiefe kann schon eine wirbelnde Bewegung erzeugen, wobei sich der herabsinkende kalte Luftstrom nach allen Seiten bewegt. Hierbei bezieht sich Kämtz auf die Erzählung, welche Franklin aus dem Munde eines Wallfischfängers erhielt (§. 25); auch lieſsen sich wohl noch sonstige Beobachtungen, z. B. von Colden (§. 18), hierfür geltend machen, wie denn auch zur Widerlegung das Argument nicht genügt, daſs in der Nähe der verheerendsten Wettersäulen so oft völlige Windstille herrscht, denn in diesen Fällen ist meistens ein schnelles Fortschreiten der schon gebildenden wirbelnden Säule vorhanden; allein wir werden später dennoch einige Schwierigkeiten beachten müssen, die sich allerdings nicht so leicht beseitigen lassen. Inzwischen findet auch Kämtz es bloſs wahrscheinlich, daſs die meisten Wasserhosen dadurch entstehn, daſs Luftströme in den oberen Regionen der Atmosphäre auf einander treffen, wodurch dort schon die Ursache der wirbelnden Bewegung gegeben wird. Sind diese Luftströme heftig, ist ihre Temperatur und ihr Dampfgehalt sehr verschieden, so wird der Dampf mit Schnelligkeit condensirt, und während bei den gewöhnlichen Wirbeln leichte Körper in die Höhe steigen, werden hier die Dampfbläschen herabwärts geführt, wobei die Masse von der Wolke aus gegen die Erde an Dicke abnimmt. Hierbei bleibt die Frage unentschieden, ob die Nebelbläschen wirklich herabsinken, oder nicht vielmehr die Condensation auch in der Tiefe fortdauert und somit das Herabsinken nur ein scheinbares ist. Erreicht der Wirbelwind endlich die Oberfläche

---

1 Meteorologie. Th. II. S. 544 bis 557.

des Meeres, so erhebt sich dieses, zu Tropfen gepeitscht, und erhält das Ansehn eines rauchenden Ofens. Indem sich auf diese Weise die Wolke herabsenkt, das Wasser aber steigt, vereinigen sich beide und es findet eine Verbindung zwischen Meer und Wolke statt.

Inzwischen hält Kämtz es keineswegs für erforderlich, daſs der Wirbelwind in der Region der Wolke entstehn müsse, vielmehr würde es voreilig seyn, bei den vielen möglichen Combinationen hierüber allgemeine Gesetze aufzustellen; je nach der Richtung der Luftströme kann der Wirbelwind auch in der Tiefe beginnen, in welchem Falle die Wasserhosen in die Höhe steigen. Als Beweise hierfür werden die Fälle angeführt, in denen der Fuſs der Tromben zuerst oder allein gebildet wird. Die Beantwortung der Frage, ob die Wasserhosen aus massivem Wasser oder nur aus Tropfen und Nebelbläschen bestehn, kann wohl am wenigsten zweifelhaft seyn, und es wird nicht leicht jemand Anstand nehmen, der hier geäuſserten Ansicht beizutreten, wonach sie aus Wasserdunst, mit Wassertropfen gemengt, zusammengesetzt sind. Aus bloſsem Wasser können sie schon deswegen nicht bestehn, weil sie sonst glänzend und durchsichtig seyn müſsten. Eine drehende Bewegung der Wasserhosen wird fast von allen Beobachtern erwähnt. Zum Beweise der groſsen Kraft des Windes und der Schnelligkeit, womit sich die Luftmassen bewegen, führt Kämtz folgende Beispiele an[1]. Der Capitain Recórds führte im Jahre 1674 ein Schiff von 300 Tonnen und 16 Kanonen mit Ladung nach der Küste von Guinea und gewahrte unter etwa 8° nördl. Br. mehrere Wasserhosen, deren eine gerade auf das Schiff zukam. Wegen Windstille konnte er ihr nicht entgehn und bereitete sich daher durch Einziehn der Segel zu ihrem Empfange. Sie kam schnell herbei und platzte, ehe sie am Schiffe anlangte, machte dabei ein starkes Geräusch und warf das Wasser rings umher in die Höhe, als wenn ein ganzes Haus oder etwas der Art hineingefallen wäre. Die Wuth des Windes dauerte fort und ergriff das Schiff am Steuerbord mit solcher Heftigkeit, daſs er den Bogsprietmast und den Fockmast zerbrach, das ganze Schiff der Länge nach überflügelte, es auf die Seite warf und beinahe umgeworfen hätte; allein es

1 Franklin's Werke. Th. II. S. 91 u. 52.

wurde bald wieder aufgerichtet, weil der Wind es in Wirbeln mit der nämlichen Wuth auf der entgegengesetzten Seite ergriff und auf die andere Seite warf. Einen anderen Fall dieser Art erzählt Dr. Mercer. Dieser sah in dem Hafen St. Jean auf Antigua zwei oder drei Wasserhosen; auf der Oberfläche des Meeres zeigte sich ein Kreis von etwa 20 Faden im Durchmesser, in welchem das Wasser heftig bewegt und schnell in die Luft getrieben wurde. Als sie auf das Land kam, nahm sie Latten, Stangen, grofse Stücke Zimmerholz, ein kleines, hölzernes Häuschen u. s. w. mit sich fort, führte letzteres 40 Fufs von seiner Stelle weg, und stellte es wieder auf, ohne es zu zerbrechen oder umzuwerfen. Merkwürdig war dabei, dafs das Haus von Ost nach West getragen wurde, obgleich die Trombe die entgegengesetzte Richtung hatte. Zwei oder drei Neger und eine weifse Frau wurden durch einen in die Höhe gehobenen und wieder herabfallenden Balken getödtet.

Die Sandwirbel (§. 1) zeigen sich nach Kämtz an windstillen Tagen, wo die Sonne mit grofser Kraft den Boden erhitzt. Aufsteigende heifse Luftströme stören dann das Gleichgewicht der Atmosphäre, kalte stürzen später herab und geben Gelegenheit zur Entstehung dieser Wirbelwinde, weswegen die Erdtromben in den Gegenden, wo der Samum herrscht, an denjenigen Tagen sich am häufigsten zeigen, wo dieser Wind weht. Wenn aber auch in allen Fällen dieser Art die Bewegung vom Boden anzufangen scheint, so ist dieses kein Beweis, dafs sie vom Boden anfangen müsse; denn wo keine Dämpfe condensirt werden, fehlt es so lange an dem Mittel, diese Bewegung zu erkennen, bis der in die Höhe gehobene Sand diese anzeigt.

Die elektrische Hypothese, sofern nach derselben eine Anziehung zwischen der Wolke und namentlich dem Wasser statt finden soll, verwirft Kämtz gänzlich, und hält die bei diesen Meteoren sich zeigenden elektrischen Entladungen vielmehr für Folgen des entstehenden Niederschlages. Auch die drehenden Bewegungen, die man so sehr allgemein bei den Wettersäulen wahrnimmt, betrachtet er nicht als Wirkungen der Elektricität, wenn gleich diese sich in vielen Fällen auf gleiche Weise wirksam zeigen mag und die von Herschel und Erman vorzugsweise untersuchten wirbelnden Bewegungen des Quecksilbers und sonstiger Flüssigkeiten um die Enden der Schliefsungs-

drähte[1] als beweisend hierfür angenommen werden. Ungeachtet dieser interessanten Erfahrungen können, nach seiner Ansicht, nicht alle drehende Bewegungen als Wirkungen der Elektricität betrachtet werden, denn es zeigen sich solche auch bei vielen andern Gelegenheiten ohne Mitwirkung dieses Agens, z. B. wenn Wasser aus einem Mühlgerinne oder einem engen Canale in ein erweitertes Flufsbett tritt. Noch genauer lassen sich jene Erscheinungen künstlich nachbilden, wenn man ein Gefäfs von etlichen Zoll im Durchmesser mit Wasser füllt, in geringer Höhe über dessen Oberfläche eine etwas weite, wenig gegen den Horizont geneigte Thermometerröhre so hält, dafs die durch ihre Axe gelegte Verticalebene mit einem Durchmesser des Gefäfses nahe zusammenfällt, und dann durch diese Röhre bläst. Hierbei zeigen sich die erwähnten Wirbel genau auf gleiche Weise, und lassen sich insbesondere durch aufgestreuten Kohlenstaub sichtbar machen, ohne dafs dabei die mindeste Spur von Elektricität vorhanden ist.

Andere Hypothesen, z. B. dafs an der Stelle der Wasserhosen plötzlich ein leerer Raum entstehe, in welchen das Wasser aufgesogen werde, oder dafs unterirdische Dünste in die Höhe steigen, findet Kämtz der Beachtung nicht werth. Nach allen Erfahrungen hält er es vielmehr für wahrscheinlich, dafs die Wettersäulen auf mechanischem Wege entweder durch Zusammentreffen entgegengesetzter Luftströme, oder durch das Herabsinken kalter Luftmassen erzeugt werden, da kein mit den Gesetzen der Mechanik Vertrauter beweifeln werde, dafs auf diese Art Wirbel entstehn können.

29) Ehe wir zur Erörterung der elektrischen Hypothese übergehn, müssen wir zuvor dasjenige näher betrachten, was Oersted[2] in einer gehaltreichen Abhandlung über die Wettersäulen gesagt hat. Zuerst stellt er die vorzüglichsten Erscheinungen zusammen, welche zu diesen Meteoren wesentlich gehören, und obgleich es genügend scheint, in dieser Beziehung auf die bereits mitgetheilten ausführlichen Beschreibungen zu verweisen, so erfordert doch die Vollständigkeit, gerade diejenigen Thatsachen kurz hervorzuheben, auf welche ein Physiker von so grofser Autorität seine Hypothese gründet.

---

1 Vergl. Art. *Säule*. Bd. VIII. S. 67 ff.

2 Schumacher's Jahrbuch 1838. S. 228.

Nach OERSTED ist die Wettersäule eine stark bewegte Luftmasse, welche über die Oberfläche der Erde hingeht und sich indeſs um eine Axe dreht, wovon der eine Endpunct sich auf der Erde, der andere in einer Wolke befindet. Von dieser Wolke geht eine Verlängerung herab, die den oberen Theil der Wettersäule ausmacht; der untere besteht, auſser Luft, bald aus Wasser, bald aus festen Theilen, jenachdem die Wettersäule über Land oder über Wasser geht. Die Höhe der Wettersäulen wird zu 1500 bis 2000 Fuſs angegeben, doch sollen einige eine Höhe von 5000 bis 6000 Fuſs gehabt haben, und wenn diese niedriger, sogar nur 30 Fuſs angegeben wurde, so muſs der untere Theil für die ganze genommen seyn. Eine Wolke gehört allezeit zu einer Wettersäule, und wenn man sie nicht wahrnahm, so rührte dieses daher, weil man sie senkrecht über der sich erhebenden Wassersäule suchte. Der Durchmesser des unteren Theiles soll im Mittel einige hundert Fuſs, zuweilen über tausend, aber auch weniger betragen, wozu dann der Wirbel von umhergeworfenen Tropfen gerechnet wird; die Vertiefungen, welche dieselben auf dem Lande machen, sind weit kleiner. Den Durchschnitt des mittleren Theiles haben die Beobachter zu etlichen Fuſs angegeben, allein OERSTED meint, derselbe sey von einem Luftwirbel umgeben, den man nicht wahrnimmt, weil er keine undurchsichtigen Theile enthält.

„Der mittlere Theil der Wettersäulen ist oft durchsichtig, „doch gilt dieses wohl nur von denjenigen, die sich über dem „Wasser befinden. Man hat eine Wettersäule gesehn, deren „mittlerer Theil, während sie über das Land ging, undurch„sichtig war, dagegen aber durchsichtig wurde, als sie sich „über einen Fluſs fortbewegte. Auf dem Wasser hat man die „Durchsichtigkeit dieses Theils so groſs gefunden, daſs man „Wolken, welche von der Sonne beleuchtet waren, durch den„selben sehn konnte. Wenn eine überall undurchsichtige Wet„tersäule geschwächt zu werden anfängt, ziehn sich die wol„kenartigen Theile, welche in dieselbe hinabgestiegen waren, „zurück, und da Tropfen, Schaum, Staub und dergleichen, „die einen andern Theil undurchsichtig machen, nun nicht län„ger so weit hinaufgetrieben werden, so wird auch der mittlere „Theil durchsichtig."

Es muſs auffallen, daſs in keinem der vielen oben mitge-

theilten Fälle, aufser bei den Sandwirbeln, die ihre Anwesenheit blofs durch die empor gehobenen Körper ankündigen, von Undurchsichtigkeit, stets dagegen von einer mehr oder minder dunklen, in der Mitte etwas helleren Wolke oder vielmehr von einem nebelartigen Schlauche die Rede ist. Allerdings beobachtete man häufig den unteren aufbrausenden Theil über dem Wasser, und oben eine Wolke; allein es dürfte doch gewagt seyn, zwischen beiden einen durchsichtigen und somit selbst nicht sichtbaren Theil als wirklich vorhanden anzunehmen; gegen eine Durchsichtigkeit, wie die des Wassers, dürften aber alle Beobachter, wie Kämtz erwähnt, sich bestimmt erklären. Es wird sich aber in der Folge zeigen, dafs die Bezeichnung der Durchsichtigkeit nur insofern gelten soll, als sich Bewegungen im Innern der Schläuche wahrnehmen lassen. Das Sehen einer Wolke durch dieselbe mufs ich auf sich beruhn lassen.

„Die Wettersäule hebt und senkt sich abwechselnd, sie „reifst daher an einigen Stellen die Bäume aus, nimmt ihnen „an andern die Krone, und berührt sie an noch andern gar „nicht. Die kreisförmige Schnelligkeit derselben ist sehr un„beständig, aber fast alle Beobachter erwähnen dieselbe und „keiner widerspricht dieser Angabe, allein der untere Theil hat „keine kreisförmige Bewegung, so lange die Trombe nicht mit „der Erde in Berührung kommt. Man hat eine auf- und eine „abwärts gehende Bewegung in der Wettersäule wahrgenom„men, versteht sich die eine der Mittellinie näher, als die andere. „Auch Schraubengänge sind in den Wettersäulen gesehn worden, „zuweilen die einen rechts, die andern links gedreht. Friedrich „Rabe sah bei einer Wettersäule in Laland Stroh, Blätter und „andere leichte Gegenstände in Windungen aufserhalb der Wet„tersäule hinaufsteigen."

In Beziehung auf die verheerenden Wirkungen, welche die Wettersäulen anrichten, führt Oersted an, dafs einst eine Wasserhose auf Christiansöe den Hafen bis zum Sichtbarwerden eines grofsen Theiles des Bodens ausleerte, auch theilt er die herrschende Ansicht, dafs in den Fällen, wo man Samenkörner, Thierchen und dergleichen herabfallen sah, dieses von einer Trombe herrührte. Vorzugsweise hebt er die Wettersäule hervor, welche die Gegend von New-Brunswick verheerte

(§. 5). Bei ihrer Richtung von West nach Ost fand man, dafs diejenigen Bäume, welche in der Mittellinie ihrer Bahn, oder in der Nähe derselben, umgeworfen waren, mit dem Gipfel gegen Osten lagen, wodurch sich ein Luftstrom in der nämlichen Richtung, den die Wettersäule genommen hatte, verrieth. Dagegen lagen diejenigen Bäume, welche weiter hinaus an beiden Seiten gefallen waren, zwar mit dem Gipfel gegen Ost, aber nicht gerade aus in dieser Richtung, sondern zugleich gegen die Mittellinie dieser Bahn gekehrt. Dabei entdeckte man, dafs im Anfange eine entgegengesetzte Richtung, nämlich von Ost nach West, an jedem Orte statt gefunden haben mufste, da verfaulte und spröde Bäume, die also zuerst umgeworfen wurden, unter den andern lagen und derjenigen Gegend zugekehrt waren, woher die Wettersäule kam. „Dieses wird dadurch leicht erklärt, wenn man annimmt, dafs „Luftströme in der Nähe der Erdoberfläche gegen den Mittelpunct desjenigen Ortes überall sich bewegen, an welchem die „Wettersäule in dem gegebenen Augenblick sich befindet, woraus folgt, dafs um die vordere Hälfte derselben Zuströmungen, worin die östliche Richtung die überwiegende war, statt „finden mufsten, während die westliche Richtung in den Zuströmungen um die hintere Hälfte die herrschende war.“ An einigen Orten lagen die umgeworfenen Bäume einem gemeinschaftlichen Mittelpuncte zugekehrt.

Viele Umstände, fährt Oersted fort, thaten dar, dafs eine Verdünnung der Luft im Innern der Wettersäule, und zwar in einem hohen Grade, statt gefunden hatte. Nicht nur Dächer und die oberen Decken der Häuser waren abgehoben, sondern sogar Fufsböden aufgebrochen, welches nicht leicht zu erklären ist, wenn man nicht annimmt, dafs der Luftdruck von aufsen sehr schnell und stark verringert worden war, so dafs die Ausdehnungskraft der eingeschlossenen Luft ein bedeutendes Uebergewicht erhalten mufste. Viele andere Wirkungen dieser nämlichen Wettersäule bestätigen dieses. Wände und Fenster waren oft auswärts geworfen. In einem Hause, welches durch die Wettersäule sehr gelitten hatte, war ein Betttuch in die Ritze einer Wand gedrängt und safs so fest darin, als ob es mit Vorsatz hineingestopft wäre; ebenfalls fand man ein Schnupftuch in einer Ritze der entgegengesetzten Wand. Diejenigen Gegenstände, welche die Wettersäule aufgehoben hatte, waren

nach der Nordseite hingeführt, mehr oder weniger entfernt, je nach ihrem gröfseren oder geringeren Gewichte.

Hinsichtlich der übrigen begleitenden Umstände der Wettersäulen erwähnt Oersted das Bekannte, z. B. das häufig wahrgenommene Getöse, den Geruch, ferner dafs sie häufiger auf dem Meere als auf dem Lande, und vorzugsweise sich da zeigen, wo Windstille oft mit Unwetter wechselt. Von elektrischen Erscheinungen, als Blitzen, Donner, oft einem Leuchten, so dafs man das Versengtseyn des Getreides befürchtete, sind die Wettersäulen in den meisten Fällen begleitet, nicht selten folgt auf sie Hagel oder Regen in grofsen Tropfen. Oersted fand nur einmal den gleichzeitigen Barometerstand angegeben, und wünscht mit Recht, dafs hierüber mehrere Angaben vorhanden seyn möchten. Es war dieses bei der zu Eu am 16ten Juli 1785, wo der Barometerstand drei Tage lang 28 Z. 5 Lin. gewesen war, um 7 Uhr Morgens aber um 2,5 Lin. fiel, worauf um 8 Uhr die Trombe folgte, und um Mittag das Barometer seinen früheren Stand wieder annahm[1]. Wenn behauptet wird, der untere Theil der Wettersäulen entstehe in einigen Fällen zuerst, so soll dieses nur Täuschung seyn, weil der Luftwirbel unsichtbar bleibt, so lange er nicht mit Dünsten oder Wassertropfen angefüllt ist. Die innere Bewegung im Fufse der Wasserhosen hat man oft mit einem Kochen verglichen, und geglaubt, es werde dieses durch die Dunst- und Nebelmasse bestätigt, die gewöhnlich darüber schwebt; allein de la Nux, welcher während 40 Jahren auf Bourbon die dort zahlreichen Wasserhosen beobachtete, behauptet, dieser Dunst sey nur scheinbar und rühre von einer grofsen Menge aufsprudelnder Wassertropfen her. Oersted meint dagegen, es sey dieses nicht stets der Fall, doch könnten sich wohl Dünste um das bewegte Wasser bilden, wenn dieses einen geringeren Wärmegrad habe, als die Luft, und die in derselben enthaltenen Dünste abkühle. Der obere Theil der Wettersäulen soll sich da befinden, wo er sich für das

---

1 Die Beschreibung des Meteors findet sich im Journ. de Phys. T. VII. p. 70. Auch bei der Trombe zu Esclades (§. 3) stieg das Barometer nach derselben, bei der zu Constanz aber (§. 21) mufs sich der Barometerstand nicht geändert haben, denn sonst hätte Lachmann, der dasselbe beobachtete, dieses angegeben.

unaufmerksame Ange in den Wolken verliert. Kurz vor dem Erscheinen derjenigen, die sich unfern von Eu zeigte, sah man die Wolken sich theilen und einige in der entgegengesetzten Richtung der übrigen gehn, welches auf eine darauf folgende Umdrehung hindeutete. Ein aufmerksamer Beobachter, Holm, bemerkte bei einer Trombe in der Nähe von Kopenhagen durch die Oeffnungen in den unteren Wolkenschichten eine drehende Bewegung in den höher liegenden; vom oberen Theile der Wettersäule gingen weiſse Wolken aus, die eine wirbelnde Bewegung, wie die Wettersäule selbst, hatten. Auch nachdem diese sich aufgelöst hatte, behielten die Wolken die drehende Bewegung bei, und zwar nicht bloſs diejenigen, die den oberen Theil ausgemacht hatten, sondern auch die übrigen, in einigem Abstande hiervon sich befindenden.

30) Die Uebersicht der hier vorzugsweise hervorgehobenen Thatsachen läſst schon vermuthen, daſs sich Oersted gänzlich den Vertheidigern der mechanischen Hypothese anschlieſsen wird. Nach ihm ist eine Wettersäule ein Luftwirbel, an sich nicht sichtbarer, als die Luft selbst, und bloſs die mit Dünsten, Wassertropfen und festen Körperchen angefüllten Theile werden uns sichtbar. Weder in der Erde, noch im Meere oder auch an der Oberfläche der Erde sind die Bedingungen enthalten, welche diese Wirbel hervorbringen könnten, und sie müssen daher in den oberen Regionen ihren Ursprung haben. Durch die kreiselnde Bewegung der Wettersäule streben alle Theile von der Axe gegen den Umfang. Rings um diese entsteht daher eine groſse Luftverdünnung, und so lange der Wirbel die Erde nicht erreicht hat, muſs die untere Luft in die entstandene Leere eindringen, die dadurch entsteht, daſs die umkreisenden Theile zugleich in die Höhe steigen. Die Luft muſs daher von allen Seiten herzuströmen, und wenn keine besonders starke fortschreitende Bewegung vorhanden ist, müssen die umgeworfenen Gegenstände einem gemeinschaftlichen Mittelpuncte zugekehrt seyn; bei groſser Schnelligkeit des Fortschreitens muſs der Einfluſs beider Kräfte auf die Richtung bemerkbar werden. So lange die Wettersäule die Erdoberfläche noch nicht erreicht hat, muſs im Innern derselben ein aufwärtsgehender Luftstrom herrschen, welcher die emportreibende Kraft derselben ausmacht. Stöſst sie auf Gebäude, so kann die Zuströmung von unten gehemmt seyn; hierdurch entsteht eine

grofse Luftverdünnung um das Gebäude herum und über demselben, so dafs die darin eingeschlossene Luft Fenster und Wände auswärts, Dächer, Decken und andere Gegenstände aber, welche Luft unter sich haben, aufwärts treibt.

Eine so lange Röhre, als diejenige, welche durch die Centrifugalkraft in der Wettersäule gebildet wird, kann durch Zuströmungen von unten nicht hinlänglich ausgefüllt werden und ein Theil der Wolkenmasse mufs daher in sie hinabstürzen. Die der Axe nächsten Theile werden mit der gröfsten Kraft herabwärts getrieben, in einem gewissen Abstande dagegen werden die Theile durch die Centrifugalkraft am Sinken gänzlich gehindert. Hieraus erklärt sich leicht die trichterförmige Gestalt der Tromben. Steht der Luftwirbel nahe über dem Meere, so mufs dafs Wasser unter demselben steigen, theils mittelst der Verdünnung der darüber befindlichen, theils mittelst der von allen Seiten zuströmenden Luft. Aufserdem mufs die im Wasser enthaltene Luft dem darüber befindlichen, weniger ausgefüllten Raume zustreben, vorzüglich wenn das Wasser sich in einer lebhaften Bewegung befindet. So geschieht es dann, dafs das Wasser während des sich nahenden Luftwirbels emporsteigt, schäumt und brauset. Wenn der Luftwirbel mit der Erdoberfläche in Berührung kommt, sey es über dem Lande oder über dem Wasser, so müssen die Lufttheile durch die Centrifugalkraft auswärts geführt werden und die Zuströmungen aufhören. Die Bewegung der Luft theilt sich den leicht beweglichen Körpern mit, und sie erhalten hierdurch selbst eine Bewegung, nicht blofs auswärts, sondern auch aufwärts. Dieses geschieht auf folgende Weise. Die Kreisbewegung verbreitet sich nach unten zu und schleudert dadurch feste Theile oder Wassertropfen, jenachdem das Meteor sich über dem Lande oder über dem Meere befindet, auswärts zum Umkreise hin; auf dem geraden Wege auswärs finden solche Theile aber einen grofsen Widerstand in der sie umgebenden Masse, so dafs sie steigen müssen, während sie sich von der Mittellinie entfernen. Daher kommen die Vertiefungen auf dem Lande und das Entblöfsen des Bodens seichter Gewässer; ist die Trombe über dem Meere, so kann man sagen, dafs das Wasser rings um den Fufs derselben einen grofsen Kranz von aufgehobenem Wasser mit einer sprudelnden und schäumenden Oberfläche bilde.

Nach Oersted erhalten die in der Wettersäule aufsteigenden Theilchen durch die Umdrehung zugleich eine spiralförmige Bewegung, und Körper, die in ihnen herabfallen, nachdem sie früher aufstiegen, oder auch Regentropfen und Hagelkörner nehmen gleichfalls eine drehende Bewegung an, die aber die erstere durchkreuzt. Man hat daher zwei solche schneckenförmige Bewegungen, die eine rechts, die andere links gehend, in den durchsichtigen Wettersäulen wahrgenommen. Die auf dem Meere sollen dann durchsichtiger seyn, als die auf dem Lande, oder vielmehr soll ihre Undurchsichtigkeit blofs eine Folge der in ihnen befindlichen Regentropfen oder Wolkenmasse seyn (§. 29). Da die obere Luft in den im Innern der Wettersäule befindlichen luftverdünnten Raum herabsinkt, so mufs in denjenigen Fällen, wobei der Wirbel hoch über die Wolken hinaufreicht, diese Luft sehr kalt seyn, mithin einen Niederschlag bewirken, der häufig in Gestalt grofser Regentropfen oder Hagelkörner herabfällt. Man kann sich dann vorstellen, dafs die gefrorenen Theile bei diesen Bewegungen bald aufser Berührung, bald in Berührung mit wärmerer und feuchterer Luft kommen, wodurch die einzelnen Eisüberzüge der Hagelkörner erklärlich werden. Die begleitende Elektricität mag dann wohl dazu beitragen, eine gröfsere Mannigfaltigkeit der Bewegung hervorzubringen, und insofern Volta's Vermuthung einige Anwendung finden. Hiernach dürften also alle Hagelschauer Wirkungen solcher hoch über die Wolken hinüberragenden Luftwirbel seyn[1].

31) Die elektrischen Erscheinungen, welche die Wettersäulen begleiten, hält Oersted mit Recht für eine Folge des wässerigen Niederschlages, und es läfst sich dann hieraus zugleich erklären, warum sie mitunter kleine Wolken anziehn und wieder abstofsen. Wenn man aber in neueren Zeiten annahm, dafs die Umdrehung derselben aus einem in ihnen vorhandenen elektrischen Strome und dem Einflusse des tellurischen

---

1 Die Entstehung des Hagels läfst sich nach einer dieser ähnlichen Hypothese auch ohne die Annahme von Wirbeln recht gut erklären. Vergl. Art. *Hagel*. Bd. V. S. 68 ff. Dafs aber mit den zur Bildung des Hagels und der Niederschläge überhaupt erforderlichen Bedingungen Luftwirbel leicht, und in gewissem Sinne nothwendig, verbunden sind, liegt sehr nahe und bedarf keiner weiteren Nachweisung.

Magnetismus auf diesen abzuleiten sey, so läfst sich hiergegen einwenden, dafs den vielen Erfahrungen nach nie ein Mensch durch eine Wettersäule einen elektrischen Stofs erhielt, hauptsächlich aber müfsten bei so starker vorhandener elektrischer Ladung der Wasserhosen, als zu dieser Wirkung erforderlich wäre, die Compafsnadeln der ihnen nahen Schiffe allezeit durch sie abgelenkt werden, was aber nie bemerkt worden ist, und auch selbst dann nicht beweisend seyn könnte, wenn es etwa einmal wahrgenommen würde. Die vorhandene Elektricität ist daher Wirkung, aber nicht Ursache der Trombenbildung und erzeugt dann denselben Geruch, als bei Gewittern. Das begleitende Getöse soll eine Folge zusammenstofsender Hagelkörner seyn, der oft wahrgenommene pfeifende Laut aber vom Einströmen der Luft von unten herauf in die Wettersäule herrühren; allein beiden Hypothesen stehn nicht wohl zu beseitigende Gründe entgegen. Zuerst sind nicht in allen, ja sogar nur in den wenigsten Wettersäulen Hagelkörner vorhanden, bei vielen aber, welche über Schiffe weggingen, dicht bei den Beobachtern vorüberzogen oder in denen selbst sich Menschen befanden, ist die völlige Abwesenheit alles Regens und Hagels bestimmt constatirt. Auf gleiche Weise würde es aber einen sehr engen Canal, oder mindestens eine sehr enge, durch feste Wandungen eingeschlossene Oeffnung dieses Canals voraussetzen, wenn aus dem Einströmen der Luft in denselben nach akustischen Gesetzen ein Pfeifen entstehn sollte. Wie mir scheint, hiefse es absichtlich Schwierigkeiten suchen, wenn man beide Phänomene aus andern, als bereits bekannten Ursachen ableiten wollte. Das Aufbrausen des Meeres ist bei den Wasserhosen eine genügende Ursache zur Hervorbringung des bei ihnen wahrgenommenen Getöses, das Rauschen des Sturmwindes, selbst wenn er bei heiterem Himmel blofs in den höheren Regionen statt findet, ist nach sehr allgemeinen Erfahrungen mitunter so stark, dafs dasselbe aus gröfserer Nähe gehört leicht demjenigen gleichen kann, welches die Wettersäulen begleitet, und unter den mancherlei Luftbewegungen, die nothwendig mit der Trombenbildung verbunden sind, können auch auf gleiche Weise, als bei den Stürmen, solche vorhanden seyn, die den seltener wahrgenommenen pfeifenden Ton geben.

Nach allem diesen hält sich also Oersted für überzeugt, dafs ein Wirbel, welcher in den höheren Luftregionen anfängt

und sich nach unten zu verbreitet, als nächste Ursache der Wettersäulen zu betrachten sey. Zugleich wirft er aber die Frage auf, wodurch diese Wirbel entstehn, und glaubt, dafs sie durch zwei einander parallele und in entgegengesetzter Richtung wehende Luftströme füglich entstehn können, die wir auch dann in den oberen Regionen annehmen dürfen, wenn die unteren Luftschichten vollkommen ruhig sind. Obgleich man aber bei einer Luftfahrt auf eine solche, im Wirbel bewegte Wolke gestofsen ist[1], so fehlt doch der Beweis, dafs solche Luftströme zur Zeit der Luftwirbel wirklich vorhanden sind. Wenn wir aber bedenken, dafs sie häufig seyn müssen, so ist wenigstens ihre Existenz sehr wahrscheinlich. Wir wissen aufserdem, dafs entgegengesetzte Luftströmungen bei unten herrschender Ruhe oft mit einander kämpfen, so wie auch, dafs die einander entgegengesetzten, durch den ungleichen Wärmegrad über dem Lande und über dem Meere hervorgebrachten Strömungen sich oft bis zu einer bedeutenden Höhe erstrecken und sich daselbst noch in grofser Bewegung befinden, während unten alles ruhig ist.

32) Die bisher mitgetheilten Theorieen gehören zu den mechanischen, derjenigen dem Wesen nach ähnlich, welche zuerst durch Musschenbroek aufgestellt wurde und dann in Kämtz und Oersted mit einigen Modificationen so gewichtige Vertreter fand. Die bedeutenden Anhänger derselben begnügten sich nicht mit einer blofsen Angabe, dafs diese Meteore zur Classe der Wirbelwinde gehören, sondern sie bemühten sich, alle Einzelheiten der Phänomene der Hypothese anzupassen. Weniger ist dieses der Fall bei der Mehrzahl von denen, welche sich zur *elektrischen Hypothese* bekennen, doch haben einige derselben gleichfalls diese Ansicht mit grofsem Aufwande von Scharfsinn zu unterstützen gesucht. Bekanntlich findet Beccaria[2] die endliche Ursache aller meteorologischen und so vieler anderer Phänomene in der Elektricität, und diesemnach sollen

1 Eine specielle Nachweisung dieses Falles und eine genaue Angabe des Thatsächlichen findet sich hier nicht; handelt es sich blofs von sich drehenden Wolken, so gewahrt man solche häufig, aber diese genügen nicht zur Erzeugung der Tromben. Sonstige Zweifel sind unter §. 36 erhoben worden.

2 Elettricismo artificiale e naturale. 1753. 4. Lettere dell' elettricismo. Bologna 1758. 4.

auch die Wettersäulen durch elektrische Anziehung zwischen der Wolke und dem Erdboden oder der See entstehn. Eben diese Ansicht hegt BRISSON[1], CAVALLO[2] aber war wohl der erste, welcher sie durch Versuche zu begründen suchte. Bringt man einen grofsen Wassertropfen auf den Knopf einer isolirten geladenen Flasche, und nähert man ihm den Knopf einer andern Flasche, welcher mit der entgegengesetzten Elektricität geladen ist, so wird er auf eine seltsame Weise hinweggespritzt. Hängt ein grofser Wassertropfen an dem Knopfe eines elektrisirten Leiters und nähert man ihm von unten einen flachen, mit der Erde verbundenen, leitenden Körper, so dehnt er sich kegelförmig aus und nimmt die Gestalt einer kleinen Wasserhose an. Giebt also eine einzelne stark elektrisirte Wolke dem Wasser oder dem Erdboden durch ihren Wirkungskreis die entgegengesetzte Elektricität, so entsteht zwischen beiden eine starke Anziehung, welche die Wolke kegelförmig herabzieht, das Wasser aber oder leichte Körper emporhebt, bis sich ihre beiden Elektricitäten entweder durch unmittelbare Berührung, oder durch einen Blitz mittheilen, wodurch die Erscheinung augenblicklich aufhört und der obere Theil der Säule in die Wolke zurückgezogen wird, indem der untere herabfällt. Die wirbelnde Bewegung der Wettersäulen scheint bei CAVALLO mindestens einigen Anstand erregt zu haben, da er diese bei seinen Versuchen nicht allezeit, sondern nur selten durch Zufall entstehn sah. Inzwischen bezog er sich hierbei auf BECKET[3], welcher die Vorschrift giebt, man solle die für den sogenannten *elektrischen Regen* oder den *elektrischen Puppentanz* dienenden Breter auf 4 bis 5 Zoll von einander entfernen, um den Mittelpunct des untern Bretes etwas Kleien und sehr kleine Papierschnitzel legen, und werde dann, wenn das obere Bret mit dem ersten Conductor, das untere mit der Erde oder dem isolirten zweiten Conductor verbunden sey, jene leichten Substanzen wechselsweise angezogen und abgestofsen sehn. BECKET setzt dann hinzu: „Das Sonderbarste „bei diesem Versuche, und was die genaueste Aehnlichkeit mit

1 Mém. de l'Acad. de Paris. 1767.

2 Vollständige Abhandlung von d. Elektricität. Deutsche Uebers. 3te Aufl. S. 200. 4te Aufl. Th. I. S. 67 u. 241.

3 Essay on Electricity. p. 141.

„dem Wirbelwind hat, ist dieses, dafs bisweilen, wenn die „Elektricität sehr stark ist, sich eine Menge Kleien und Papier „auf einen Haufen sammelt, eine Art von Säule zwischen den „Bretern bildet, plötzlich aber eine schnelle horizontale Bewe- „gung annimmt, sich wie eine beständig herumgedrehte Säule „bis an den Rand der Breter begiebt, von da aus aber auffliegt „und sich im Zimmer weit umher zerstreut. Ich gestehe, dafs „ich gänzlich aufser Stande bin, diese aufserordentliche Er- „scheinung zu erklären; ich nenne sie aufserordentlich, weil „sie sich nur selten zeigt, weil sie entweder von einem gewissen „Grade der Anziehung und der Menge der Kleien, oder von „dem Abstande der beiden Breter abzuhängen scheint, und weil „sie mir selten vollkommen gelingt, wenn es nicht zufällig ge- „schieht."

Physiker, die mit dem Verhalten der Elektricität vertraut sind, dürften keine Schwierigkeit finden, diese Phänomene zu erklären, die von der Stärke der Isolirung, der Trockenheit der Luft, der Intensität der elektrischen Spannung u. s. w. abhängen, auch würde es bei unsern mächtiger wirkenden Maschinen nicht so schwer seyn, solche Versuche in gröfserem Mafsstabe anzustellen und weit auffallendere Bewegungen hervorzurufen; allein schwerlich dürfte es gelingen, die eigenthümliche wirbelnde Bewegung, die sich in den Wettersäulen findet, künstlich hervorzurufen, und wollte man diese und die sonstigen Wirkungen derselben unmittelbar von der Elektricität ableiten, so müfste diese in einem solchen Grade der Spannung in ihnen vorhanden seyn, dafs sie sicher von denen wahrgenommen worden wäre, die sich nahe bei ihnen oder ganz in ihnen befanden. Reimarus[1] wagt daher nicht, die Ursache dieser Wirbelbewegung bestimmt anzugeben, glaubt aber doch, dafs sie in der Wolke liege und durch Elektricität hervorgerufen werde, wobei er sich vorzüglich auf die Beobachtungen Dryfhout's[2] stützt. Hierin findet er den Grund, warum die Wettersäulen nie bei starken Stürmen entstehn, weil letztere diese Umdrehung um eine bestimmte Axe stören, desgleichen warum sie nicht bei jedem Gewitter, in manchen Gegenden und Meeren aber öfter, als in andern sich zeigen, weil die zur

1 Vom Blitze. §. 155 ff.

2 Haarlemer Verhandlingen. T. III. p. 321.

Erzeugung der Wirbelbewegung erforderlichen Bedingungen nicht überall gleich sind. Den Einwurf, dafs nicht alle Wettersäulen mit Blitzen aufhören und manche nach erfolgter Berührung des oberen und unteren Theiles noch fortdauern, beseitigt er durch die Bemerkung, dafs man die Blitze nicht allezeit sehe, die Bewegung aber nach aufgehobener Ursache noch eine Zeit lang in Folge der Trägheit fortdauern müsse.

33) Michaud[1] giebt zwar keine nur etwas in die Einzelheiten der Erscheinungen eingehende Theorie der Wasserhosen, erklärt sich aber bestimmt gegen die durch Musschenbroek aufgestellte, und setzt hinzu, er halte es nicht für unmöglich, eine künstliche Wasserhose mittelst der Elektrisirmaschine im Kleinen ebenso nachzubilden, als dieses beim Donner und Blitz geschehe. Auch von Horner besitzen wir, so viel mir bekannt, keine vollständige Theorie der Wettersäulen, allein aus der Aeufserung: „dafs die Landtromben heftiger wirkend und „zerstörender sind, als die Wasserhosen, weil bei den letzteren „durch das Entgegenkommen des Wassers das Gleichgewicht „der Elektricität erhalten oder hergestellt und dadurch die Wir„kung geschwächt wird," läfst sich mit genügendem Grunde auf seine Vorliebe für die elektrische Hypothese schliefsen. Nichts weniger als bestimmt für diese erklärt sich Brewster (§. 15), indem er sagt, es seyen noch keineswegs Thatsachen genug vorhanden, um zu entscheiden, ob die Tromben elektrischen Ursprungs, oder blofs mechanische Wirkungen eines Wirbelwindes sind. Dagegen leide es keinen Zweifel, dafs sie in den meisten Fällen von elektrischen Erscheinungen begleitet werden, und dafs die aufsteigende Spiralbewegung des Wassers von einer kräuselnden Bewegung der Luft herrühre, die durch das Zusammentreffen zweier entgegengesetzter Winde entstehe. Bestimmter drückt sich hierüber Th. Young[2] aus. Nach seiner Meinung sind die Wettersäulen, wenn nicht elektrischen Ursprungs, doch mit der Elektricität wahrscheinlich in naher Verbindung stehend, und wenn das Ganze derselben einen leuchtenden Schein giebt, so dient dieser vielleicht dazu, die Elektricität von der Wolke zur Erde zu führen. Einige Erschei-

1 Mém. de l'Acad. de Turin. T. IX. p. 3. Journ. de Phys. T. XXX. p. 284. G. VII. 64.

2 Lectures on Nat. Philos. Lond. 1807. T. I. p. 716.

nungen lassen sich erklären, wenn man die Trombe als einen Wirbelwind betrachtet, welcher Wassertropfen in die Höhe hebt, die er von der Oberfläche der Wellen getrennt hat, die übrigen können vielleicht von einer Mitwirknng der Elektricität abgeleitet werden, die in den benachbarten Wolken bereits vorhanden ist. Als einen Anhänger der elektrischen Hypothese erklärt sich auch HARE[1], und er glaubt noch obendrein der erste zu seyn, welcher die Ursache der Tromben in der Elektricität finde. Nach seiner Ansicht soll die Elektricität eine Bewegung der Luft von allen Seiten her nach der Axe der Wettersäulen und in dieser aufwärts bewirken.

34) Ganz entschieden für den elektrischen Ursprung der Wettersäule erklärt sich POHL[2], und es ist ihm auch nach gewohnter Weise ein Leichtes, alle Einzelheiten aus dieser Hypothese abzuleiten, die er vorzugsweise auf die wirbelnde und fortrückende Bewegung derselben gründet. Dafs der eigentliche Entstehungsgrund der Wettersäulen ein elektrischer Ausgleichungsprocefs zwischen Atmosphäre und Erde sey, scheint ihm aus den sämmtlichen Merkmalen unverkennbar hervorzugehn, weswegen auch alle, die es versuchten, sich über den Entstehungsgrund Rechenschaft zu geben, bei aller Verschiedenheit im Einzelnen hierüber einverstanden seyn sollen. Die Gewitter und die Wettersäulen unterscheiden sich daher nur dadurch von einander, dafs bei jenen die Ausgleichung in momentanen Explosionen, bei diesen dagegen in einer continuirlichen Strömung von der Atmosphäre zur Erde oder umgekehrt besteht. Bei einer mächtigen und weit verbreiteten elektrischen Spannung zwischen der Erde und den höheren Regionen der Atmosphäre wird sich der Drang zur Ausgleichung an zwei gegenüberliegenden Stellen concentriren und unter begünstigenden Umständen der Atmosphäre eine continuirliche Entladung durch die zwischen beiden liegende Luftsäule erzwingen können. Diese fungirt demnach als Verbindungsdraht, und ist zugleich ein colossaler Elektromagnet, welcher als solcher durch den Erdmagnetismus in einer auf den magnetischen Meridian senkrechten Richtung entweder von Ost nach West, wenn

1 Silliman Amer. Journ. 1837. April. Biblioth. univ. 1837. Sept. p. 157.

2 Kastner's Archiv für die ges. Naturl. Th. IV. S. 181.

positive Elektricität aus der Erde aufsteigt, oder von West nach Ost, wenn die positive Elektricität aus der Atmosphäre kommt, fortgetrieben, und zugleich nach demselben Gesetze der progressiven Fortschreitung in der nämlichen Richtung auch um seine Axe gewirbelt werden muſs. Hiermit übereinstimmend hatte die zu Bonn beobachtete Wettersäule (§. 8) eine der senkrechten Richtung auf den Meridian sehr wohl entsprechende Richtung von SW. nach NO., wobei jedoch zu berücksichtigen ist, daſs locale Ursachen diese durch die magnetische Declination bedingte Richtung modificiren können.

Sofern also Pohl die Wettersäulen als groſse Rheophore betrachtet, durch welche die Elektricität von der oberen Atmosphäre zur Erde und umgekehrt strömt, müssen dieselben durch den tellurischen Magnetismus in rotirende Bewegung gesetzt werden. Hierbei bezieht er sich auf die Erfahrung, daſs verschiedene Apparate angegeben worden sind, bei denen der elektromagnetische Leitungsdraht der hydroelektrischen Kette durch den tellurischen Magnetismus während 16 Secunden zehnmal umgedreht wurde, und bei der Gewalt der atmosphärischen Elektricität, die unglaublich stärker als die unserer Säulen seyn soll, müſste die Umdrehung noch schneller seyn. Wird aber angenommen, daſs nur eine Umdrehung der Wettersäulen während fünf Secunden erfolgt, so würde doch bei einem Durchmesser von 500 Fuſs die Geschwindigkeit der äuſsersten Theile mehr als 300 Fuſs in einer Secunde betragen, was die Geschwindigkeit eines Orkans um mehr als das Doppelte übertrifft und die furchtbaren Wirkungen dieser Meteore erklärlich macht[1]. Es soll ferner eine einfache Folge der anziehenden Kraft der Elektricität einerseits und der rotirenden Bewegung der Trombe andererseits seyn, daſs das Wasser, über welches

1 Bei den Staubwirbeln bemerkt man eben nicht, daſs die Wirkung mit gröſserer Entfernung vom Centrum wächst, vielmehr scheint sie sich iu der Mitte zu concentriren und daselbst die gröſste Kraft der Hebung zu haben. Ueberhaupt darf man der so sehr flüssigen Luft, deren Theile so wenige Adhäsion zu einander haben, nicht unvermerkt das Verhalten starker Körper unterschieben, wie denn auch bei Volta's Theorie vom Hagel nicht zu übersehn ist, daſs die Wolken keine festen Breter sind, womit man die Versuche des elektrischen Tanzes anzustellen pflegt.

sie fortgetrieben wird, in Spirallinien in ihr auf und ab gewirbelt wird, auch muſs die Bewegung der auf- und absteigenden Spiralen nothwendig entgegengesetzt seyn, sobald die Axe der Wettersäule nur etwas gegen den Horizont geneigt ist, welches mit den Beobachtungen übereinstimmt.

Diese Hypothese ist bereits durch Oersted genügend widerlegt worden (§. 31), und es läſst sich nur noch etwa als eine Kleinigkeit hinzusetzen, daſs wir keinen Grund haben, anzunehmen, die Elektricität könne auch bei dem höchsten Grade der Spannung einen mit Luft und obendrein zuweilen mit trockner Luft erfüllten, mehrere hundert Fuſs hohen Raum so frei durchlaufen, als erfordert wird, wenn Elektromagnetismus frei werden soll, und es giebt auch keine Erfahrung, welche beweist, daſs Luft in Folge der sie durchströmenden Elektricität magnetisch geworden wäre. Das sehr hohe Aufspritzen des Wassers im Fuſse starker Wasserhosen ist ohnehin aus dieser Hypothese nicht erklärbar, denn der in Folge durchströmender Elektricität magnetisch gewordene Leiter zeigt weder Anziehung noch Abstoſsung, was auch der Natur der Sache nach nicht wohl seyn kann.

Wegen ihrer Originalität erwähne ich hier die Frage, welche Kastner[1] bei dieser Gelegenheit aufwirft, nämlich ob wohl die Wettersäulen aus Feuerkugelstoff in Gasform bestehn, da beide sich in der Richtung von O. nach W. und umgekehrt bewegen. Beides ist bekanntlich nicht der Fall, und wenn auch viele der im westlichen Europa beobachteten Tromben eine südwestliche Richtung hatten, so leitet Kämtz dieses einfach aus dem Umstande ab, daſs gerade diese Richtung den meisten Gewitterstürmen im westlichen Europa eigen ist; auſserdem aber kennen wir die aus den Feuerkugeln herabfallenden Meteorsteine besser, als daſs wir glauben sollten, sie könnten auch als Wassertropfen oder Hagelkörner, die gewöhnlichen Erzeugnisse der Tromben, zum Vorschein kommen.

35) Der neueste und eifrigste Vertheidiger der elektrischen Hypothese ist Peltier, zu dessen Ansichten sich auch Becquerel[2] bekennt, sofern er sie ohne Einwendung ausführlich auf-

1 A. a. O. S. 185.

2 Traité expérimental d'Électricité et du Magnétisme. Par. 1840.

genommen hat. Peltier sucht theils aus den Beobachtungen, theils aus eigens deswegen angestellten Versuchen zu beweisen, dafs alle Phänomene, welche die Wettersäulen darbieten, sich aus den Wirkungen der statischen oder dynamischen Elektricität ableiten lassen.

Aus den Berichten geht hervor, dafs während des Phänomens die Trombe sich in einem sehr begrenzten Raume bewegt, worin Dämpfe aufsteigen. Im Centrum der gebildeten Kreise hat man dreimal eine Depression wahrgenommen, in andern Fällen hat man das Wasser aufsteigen gesehn. Das Phänomen ist endlich rein local und in der Umgebung herrscht vollkommene Ruhe. Um diese Wirkungen darzustellen, ersetzte Peltier die Wolke durch eine mit ungleichen Spitzen versehene metallene Kugel, welcher fortdauernd Elektricität durch eine Maschine zugeführt wurde, und vermochte durch den Einflufs, welchen diese elektrisirte Kugel auf Wasser, Dampf und Staub hervorbrachte, eine Depression der Flüssigkeit zu erzeugen; es bildeten sich sofort Strömungen vom Centrum zum Umfange, die sich durch den ungleichen Widerstand in kreiselnde verwandelten. Ward statt der mit Spitzen versehenen eine polirte Kugel genommen, so erzeugte diese einen aufsteigenden Büschel, wie ihn schon Brisson erhalten hatte. Werden Dämpfe unter der polirten Kugel erzeugt, so scheinen diese blofs etwas schneller aufzusteigen, durch Anwendung der Spitzen aber glaubt Peltier die Menge des Dampfes verdreifacht zu haben; stellt man den Versuch mit Rauch von harzigen Körpern an, so lassen sich hierdurch die Bewegungen der Luft dem Auge sichtbar machen. Die Einwirkung der aus Spitzen ausströmenden Elektricität auf die Dampfbläschen in einiger Entfernung macht diese nach allen Seiten umherspringen und eine Art wirbelnder Wolke bilden, die nach der Intensität der elektrischen Spannung verschieden ist. Durch diesen Versuch lassen sich den Tromben ähnliche Erscheinungen, als Depression im Centrum, wirbelnde Dünste und Luftbewegungen hervorbringen. Mittelst eines Bündels von Spitzen und starker Elektricität erhält man eine Anziehung, durch welche die

---

T. VI. p. 191. Hare behauptet, diese Hypothese schon früher in einer Vorlesung am 4ten Oct. 1839 aufgestellt zu haben. S. L'Institut 1841. 9me Ann. N. 400.

Flüssigkeit in Masse gehoben wird; legt man aber leichte Kugeln oder sonstige leichte Körper, die sich in die Länge ziehn lassen, namentlich auch Blattgold, auf ein leitendes, mit der Erde verbundenes Bret, über welchem sich in einer, der elektrischen Spannung angemessenen Entfernung eine elektrisirte Kugel befindet, so lassen sich hierdurch die geradlinigen und wirbelnden Bewegungen nachbilden, die wir bei den Tromben wahrnehmen.

Diese allgemein bekannten Erscheinungen findet Peltier im gröſseren Maſsstabe in den Wettersäulen wiedergegeben, und weist dieses im Einzelnen nach, indem er bald die elektrische Anziehung der Wolken für sich, bald die der entgegengesetzt elektrischen, bald die Erregungen im Wirkungskreise zu Hülfe nimmt, wobei es an willkürlich angenommenen Bedingungen nicht fehlt. So wird er unter andern durch Benutzung dieser nämlichen Bestimmungen mit der Erklärung der *Hagelbildung* leicht fertig. Hierüber heiſst es: „wenn die Erregung der „Elektricität im Wirkungskreise (*action par influence*) zwi„schen Wolken statt findet die mit entgegengesetzter Elektri„cität geladen sind und sich in einiger Entfernung befinden, „so nimmt ein Theil ihres Dunstes die Dampfgestalt an. Diese „neue Verdampfung vermindert die Temperatur der Umgebung „so, daſs sie bis unter den Eispunct herabgehn kann. Hier„durch krystallisirt der Wasserdampf zu Schneeflocken, die sich „sofort nach ihrer Bildung wie leichte Körper verhalten. Der „auf diese Weise gebildete Schnee, welcher mit der Elektricität „der unteren Wolke geladen ist, wird durch die obere Wolke „angezogen, wodurch Neutralisation der Elektricität, Vermin„derung der Temperatur und so weiter entsteht.“ Somit glaubt Peltier Volta's bekannte Theorie abermals begründet zu haben, was nicht schwierig ist, wenn man den niedergeschlagenen Dunst in Dampf, diesen wieder in Dunst und dann in Schnee sich verwandeln läſst, indem die Wärme nach Willkür bald verschwindet, bald wieder zum Vorschein kommt. Das Verhalten der Wettersäulen in Gemäſsheit dieser Principien ist nach ihm im Einzelnen folgendes.

Die elektrischen Wolken üben den Einfluſs des Wirkungskreises auf den Boden aus, und führen eine Anziehung zwischen beiden herbei, in deren Folge die Wolken herabsinken. Wenn obere Wolken, die mit der nämlichen Elektricität geladen sind, auf tiefere abstoſsend wirken, so können diese sich

der Erde genügend nähern und sich durch die Zwischenkunft anderer, den Boden berührender und als Leiter dienender Wolken ohne Explosion entladen. Es ereignet sich oft, dafs alle auf der Erde befindliche Körper unter diesen, einem umgekehrten Kegel gleichenden Wolken, je nach ihrer Leitungsfähigkeit, Gestalt, Ausdehnung und ihrer Berührung mit dem Boden als Leiter dienen. Leichte, entgegengesetzt elektrische Körper werden gegen die Trombe angehoben, dort neutralisirt, und fallen dann wieder zurück, um aufs neue elektrisch zu werden und abermals aufzusteigen, wodurch sich unter dem Kegel eine ungeheure Staubwolke bildet. Bäume und sonstige in der Erde befestigte Körper werden augenblicklich mit einer Menge Elektricität geladen, die Erde nimmt die nämliche an, sie weicht der anziehenden Kraft der Trombe, und die Bäume sowohl, als auch in der Erde befestigte Gegenstände werden herausgerissen, während die benachbarten unbeschädigt bleiben. Sind die Gegenstände Leiter, so leiden sie die Wirkungen der dynamischen Elektricität. Sind die Wolken nicht hinlänglich dicht, um eine dauernde Leitung der Elektricität zu geben, so zeigen sich plötzliche Entladungen durch Blitze. Hiernach sind also die Tromben nichts anderes, als unvollkommene Leiter zwischen den Gewitterwolken und der Erde.

Das begleitende Getöse hält Peltier für die Folge einer Menge schnell auf einander folgender partieller Entladungen und es ist daher nach der ungleichen Leitungsfähigkeit verschieden; am stärksten zeigt es sich an den unteren Enden der Tromben, die über das Land hingehn, wegen des Staubes und der beweglichen Gegenstände, die den Leiter begrenzen; über dem Wasser zeigt es sich weniger wegen der besseren Leitungsfähigkeit der wässerigen Theile. Gestützt auf die verschiedene Bewegung der Luft in Folge der Anziehungen und Abstofsungen, denen sie unterworfen ist, und den Stofs entgegengesetzter Strömungen von ungleicher Stärke berücksichtigend, sucht er zu zeigen, wie sich die geradlinige Bewegung in eine mehr oder weniger bestimmte kreiselnde verwandelt, wonach also das Meteor bald die eine, bald die andere dieser Bewegungen zeigt. Die künstlich nachgebildeten Wirkungen der Elektricität auf das Wasser zeigen sich auch im Grofsen bei den Wasserhosen. Ist der beim Versuche dienende Körper durch eine ebene Fläche begrenzt, oder befindet er sich in

einem solchen Abstande, daſs die elektrische Entladung nicht vollständig statt finden kann, so wird die Flüssigkeit angezogen und befindet sich dann in einem entgegengesetzt elektrischen Zustande. Wenn dagegen der elektrische Körper mit Spitzen versehn ist, oder mit Hervorragungen, welche das Ausströmen der Elektricität begünstigen, und das Wasser daher eine bedeutende Menge derselben aufnimmt, so erhalten die oberen Schichten mehr, als sie abgeben können; sie werden von der Wolke zurückgestoſsen, es entsteht eine Vertiefung, die durch die unteren Lagen sofort ersetzt wird. Hieraus entstehn zuerst gerade und nachher kreisförmige Strömungen. Ist die elektrische Spannung stark genug, so wird das Wasser, so wie die Bäume, in die Höhe gehoben. Das Einströmen der Elektricität in das Wasser tödtet die Fische nicht, wenn die Temperatur nicht zugleich bedeutend dadurch erhöht worden ist, wohl aber ein hinlänglich starker Entladungsschlag entweder durch sich selbst oder durch den Rückschlag. Sind die in der Erde befestigten Körper mit Spitzen oder sonstigen Leitern versehn, so strömen sie gegen die Wolke die entgegengesetzte Elektricität aus. Diese letztere ist in gröſserer oder geringerer Menge vorhanden, je nach der Leitungsfähigkeit der Körper und ihrer Verbindung mit feuchten Substanzen. Unter geeigneten Bedingungen kann dieser Strom die Temperatur der nichtleitenden Theile bedeutend erhöhn, bei grünenden Pflanzen aber den sämmtlichen Saft verdampfen[1]. Ist zugleich die abstoſsende Kraft der Elektricität stärker als die Gewalt der Rinde, so werden die Bäume an den Stellen, welche den geringsten Widerstand leisten, gespalten, an andern in mehr oder weniger lange Splitter zerrissen, alle Feuchtigkeit verschwindet, und man könnte sie für künstlich ausgetrocknet halten.

Gegen die Hypothese, wonach alle Wettersäulen durch Wirbelbewegung erzeugt werden sollen, erklärt sich Peltier[2] deswegen, weil bei der Wasserhose zu Nizza am 12. April 1780 (§. 12) keine Wirbelbewegung wahrgenommen wurde, bei der zu Arrachon[3] aber eine solche nicht vorhanden seyn konnte, da para-

1 Dieses bezieht sich zunächst auf die durch Peltier mitgetheilte detaillirte Beschreibung einer Trombe (§. 6), die er vorzugsweise bei dieser seiner Theorie zum Grunde legt.

2 L'Institut. N. 295. p. 280.

3 Beschrieben durch Butet in Journ. de Phys. T. VII. p. 334.

sitische Wolken sich auf- und abwärts bewegten, was man auch bei der zu Chatenay (§. 6) sah. Auch bei der Wasserhose über dem Genfer See (§. 20) zeigte sich keine Wirbelbewegung, und bei der einen von Buchanan beschriebenen (§. 17) konnte sie nicht statt finden, weil der Schlauch unter der Wolke aus drei Theilen bestand, die in einen gemeinschaftlichen vereinigt waren. Peltier verwirft übrigens die mechanische Hypothese nicht ganz, sondern meint, beide Ansichten könnten theilweise, aber nicht allgemein, richtig seyn. Hiernach soll es dann zweierlei Tromben geben, blofs elektrische und solche, die mit Wirbelbewegung verbunden sind.

36) Im Ganzen scheint es mir nicht, als sey die Theorie der Wettersäulen durch Peltier's Bemühungen bedeutend weiter gebracht worden; seine Versuche sind dem Wesen nach dieselben, die wir seit den Zeiten Beccaria's kennen, wenn gleich in weit gröfserem Mafsstabe und mit ungleich besseren Apparaten angestellt, ebendaher auch weit vollkommener. Die Folgerungen, die er hieraus ableitet, beziehn sich hauptsächlich auf die durch die Elektricität bewirkte Anziehung und wirbelnde Bewegung; wenn er aber hierüber hinausgeht und z. B. das Ausreifsen der Bäume und Pfähle als eine Wirkung elektrischer Anziehung zu betrachten scheint, so dürften die Physiker hiergegen gegründete Zweifel hegen. Was er über die enorme, in den Tromben vorhandene Hitze sagt, wodurch Bäume gespalten und in Splitter zerrissen seyn sollen, beruht auf der Erzählung der Wirkungen, welche die Wettersäule bei Chatenay (§. 6) angerichtet haben soll. Allein diese stehn ganz isolirt, bei keiner unter allen in grofser Zahl beobachteten Tromben ist jemals etwas Aehnliches wahrgenommen worden und manche unwidersprechlich constatirte Thatsachen stehn damit in auffallendem Widerspruche. Bei weitem in den meisten Tromben sind Dünste, in vielen Regentropfen und Hagelkörner enthalten, was bei einer bis 150° C. gehenden Temperatur ganz unmöglich seyn würde. Es wäre daher vor allen Dingen nothwendig gewesen, den Thatbestand dieser, von allen andern so sehr abweichenden Erscheinung genau zu ermitteln und gegen jeden Einwurf zu sichern, was nicht geschehn ist, vielmehr scheint die Beschreibung, obgleich Uebertreibungen in solchen aufserordentlichen Fällen fast nie fehlen, weil der Mensch bei seiner Vorliebe für das Wunderbare das ihm als solches Auf-

fallende noch zu vergröſsern geneigt ist, dennoch ohne scharfe Prüfung aufgenommen zu seyn. Waren wirklich einige Bäume gespalten, andere zersplittert und die Stücke weit umhergeschleudert worden, so würde es weit weniger gewagt seyn, dieses von einigen partiellen Blitzschlägen abzuleiten, wodurch diese Bäume getroffen wurden und welche den Tromben in der That nicht sehr fern liegen, als diesen Meteoren eine so enorm hohe Temperatur beizulegen. Was übrigens die versengten oder, wie wir lieber sagen wollen, verdorrten Blätter betrifft, so ist nicht angegeben worden, ob diese unmittelbar nach dem Verschwinden der Trombe untersucht wurden, denn sonst wäre es nicht so unnatürlich, wenn abgerissene Blätter in der Wärme, die so oft auf Wettersäulen folgt, am 18ten Juni in wenigen Stunden auffallend dürr geworden wären.

Abstrahiren wir von diesen, nach den erhobenen Zweifeln noch keineswegs genügend constatirten Thatsachen, so kommt das Verhalten der Wettersäulen im Wesentlichen auf zwei Dinge zurück, eine auſsergewöhnliche Anziehung mancher Körper, namentlich des Wassers bei den Wasserhosen, und eine wirbelnde Luftbewegung, welche ganz ungewöhnliche, zuweilen fast unbegreifliche Verheerungen anrichtet. Hieran lieſsen sich dann noch die wässerigen Niederschläge knüpfen, allein diese lassen sich wegen ihrer nahen Verwandtschaft mit Gewittern so leicht erklären, daſs sie ganz unberührt bleiben können; das begleitende Getöse endlich ist schon oben (§. 31), wie ich glaube, befriedigend erledigt worden, und kann nicht weiter schwierig seyn, sobald nur die Hauptsachen auf physikalische Principien genügend zurückgeführt worden sind.

Berücksichtigen wir zuerst die enormen Wirkungen, welche die wirbelnde und fortschreitende Bewegung der Luft anrichtet, so sind diese keine andern, als welche durch heftige Sturmwinde und Orkane hervorgebracht werden, sofern bloſs von der groſsen ausgeübten Gewalt die Rede ist. Es geht also aus der Erfahrung hervor und läſst sich auch durch Rechnung darthun, daſs die Luft bei hinlänglich schneller Bewegung solche Verheerungen anrichten kann, als wir bei Orkanen und Wettersäulen wahrnehmen[1]; einige Eigenthümlichkeiten der letzteren sind aber offenbar Folge der bei ihnen unzwei-

1 Vergl. Art. *Wind. Geschwindigkeit u. Stärke desselben.*

felhaft statt findenden, ganz eigentlich kreiselnden Bewegung. Hiermit kann man sich dem Anscheine nach, wie auch zuweilen vorausgesetzt wird, begnügen, und es wäre dann bloſs noch die Frage zu erledigen, auf welche Weise und durch welche Ursachen nicht sowohl die fortschreitende Bewegung, die mit der der Winde zusammenfällt, als vielmehr die rotirende erzeugt werde, und dieses bezwecken auch die hierüber aufgestellten Theorieen; allein es ist zugleich nicht zu verkennen, daſs die Tromben einige seltener oder häufiger sich zeigende Erscheinungen darbieten, die sich nicht auf gewöhnliche Luftbewegungen zurückführen lassen, und auſserdem bleibt dann noch die Hauptfrage übrig, auf welche Weise diese Wirbelbewegungen entstehn.

Zunächst in Beziehung auf diese letztere Frage, die man allezeit als die wichtigste betrachtet hat, sind die Schwierigkeiten nach meiner Ansicht keineswegs unüberwindlich. Am wenigsten bin ich geneigt, der Hypothese beizutreten, wonach einander parallele, aber in entgegengesetzter Richtung wehende Winde eine zwischen ihnen befindliche Luftmasse in diese rotirende Bewegung versetzen sollen. Die erzeugten Säulen sind allezeit genau oder fast vertical und setzen daher zwei in verticaler Ebene bewegte Luftströmungen voraus; da aber horizontale und in entgegengesetzter Richtung bewegte Luftschichten der Natur der Sache nach ungleich häufiger seyn müssen und sich auch nicht selten als wirklich vorhanden zeigen, so müſste doch irgend einmal eine horizontale Wettersäule erzeugt worden seyn, wovon aber durchaus kein Beispiel vorhanden ist. Dieser Umstand muſs bei jeder Theorie berücksichtigt werden, läſst sich aber leicht erledigen. Die Luftbewegungen haben im Ganzen schon von selbst die Tendenz zur verticalen Richtung, weil die ungleiche Dichtigkeit in Folge verschiedener Temperatur oder entstandener Niederschläge entweder die Bewegung überhaupt erzeugt, oder auf jeden Fall bedingend einwirkt. Kämtz folgert daher (§. 28) sehr richtig, daſs die auf irgend eine Weise, namentlich durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen auf den Erdboden, erhitzte Luft leicht zum Aufsteigen gebracht werden könne, und wenn wir dann annehmen, daſs die ersten erhitzten Luftschichten anfangs zwar nur langsam aufsteigen, dadurch aber allmälig zu stets gröſseren Höhen gelangen, so läſst sich leicht zeigen, daſs eine so exorbitant hohe aufsteigende

Luftsäule füglich diejenige Geschwindigkeit erhalten könne, die wir ihr zur Erklärung ihrer gewaltsamen Wirkungen beilegen müssen. Der nämliche umgekehrte Effect findet statt, wenn kalte Luftmassen herabsinken, und wird noch beträchtlich erhöht, sobald die Elasticität der Luft dann durch wässerige Niederschläge eine bedeutende Verminderung erleidet. Ist aber diese Bewegung einmal vorhanden, so bietet die Erklärung der Rotation keine grofsen Schwierigkeiten mehr dar. Alle in Wasser und noch mehr die in der Luft frei schwebenden Körper nehmen durch excentrisch auf sie wirkende Kräfte sehr leicht eine drehende Bewegung an, z. B. die grofsen Eismassen in den Polarmeeren, die Luftballons u. s. w., und man beobachtet täglich, dafs der aus den Schornsteinen aufsteigende Rauch, so wie alle in der Luft schwebende Körper diese wirbelnde Bewegung annehmen; kein Wunder also, dafs die statisch frei schwebenden Luftsäulen sehr bald durch die verschiedensten Ursachen in eine rotirende Bewegung versetzt werden, deren Geschwindigkeit diejenige sehr leicht um ein Vielfaches übertreffen kann, welche bei den Eismassen der Polarmeere das Erstaunen der Seefahrer erregt[1]. Viele haben gerade die Wirbelbewegung als eine Wirkung der Elektricität betrachtet, allein es bedarf deren hierzu nicht, obgleich sie neben andern Ursachen gleichfalls von einigem und selbst wohl bedeutendem Einflusse seyn kann. Solche mit grofser Vehemenz wirbelnde Luftsäulen, die noch obendrein oft unglaublich schnell fortschreiten, genügen allerdings zur Erklärung der schrecklichen Verheerungen, welche die Wettersäulen anrichten, und da sie nicht in regelmäfsig horizontaler Richtung fortschreiten müssen, sondern sich auch mit grofser Gewalt herabsenken können, so wird hieraus erklärlich, wie die sich auf den Rhein stürzende Trombe (§. 8) das Wasser bis auf den Boden verdrängen konnte.

Inzwischen werden hierdurch, was blofs der mechanischen Hypothese angehört, einige Erscheinungen nicht erklärt. Allerdings darf nach dem bekannten Versuche von Clément[2] nicht übersehn werden, dafs die mit einer gewissen Geschwindigkeit sich bewegende Luft, wenn sie vermöge der Trägheit in dieser Geschwindigkeit da beharrt, wo sie sich weiter aus-

---

1 Vergl. Art. *Meer, Gefrieren desselben.* Bd. VI. S. 1696.

2 Vergl. Art. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 679.

breiten kann, einen luftverdünnten Raum bildet. Obgleich sich hieraus nicht folgern läfst, dafs im Innern der Säule ein vollständiges Vacuum vorhanden sey und Gegenstände in diesem durch den äufseren Luftdruck emporgehoben werden, was schon darin einen Gegengrund findet, dafs ein blofser hohler Cylinder von unbestimmt dicken Wandungen nicht wohl die erforderliche Luftmasse haben könnte, um die bekannten mechanischen Wirkungen zu äufsern, so lassen sich doch aus diesem Gesetze manche räthselhafte Erscheinungen erklären, welche die Wettersäulen darbieten. Dahin rechne ich, dafs in Häusern und Zimmern, durch welche dieselben ihren Zug nehmen, die Thüren und Fenster bald nach innen, bald nach aufsen gedrückt und Gegenstände in Oeffnungen und Ritzen geprefst sind; denn die heftig bewegte Luftmasse kann in einem begrenzten Zimmer je nach den vorhandenen Bedingungen sowohl sich ausbreiten, als auch comprimirt werden. Bei den Landtromben mufs aufserdem in Folge des unüberwindlichen Widerstandes, den der feste Boden oder sonstige für sie unbewegliche Gegenstände ihnen entgegensetzen, an denen sie zuweilen abprallen, die Bewegung bald aufwärts, bald abwärts gerichtet seyn, und hieraus wird in Verbindung mit der starken Rotation das Ausreifsen und Aufheben von Bäumen, Pfählen und hauptsächlich von überall nicht festsitzenden Körpern erklärlich; wenn aber den Berichten nach geplattete oder gepflasterte Fufsböden von ihnen emporgehoben seyn sollen, so scheint mir hierfür, ebenso als für das hohe Aufbrausen des Wassers, die blofse Wirbelbewegung zur Erklärung nicht genügend.

Für diese und einige andere Erscheinungen bin ich daher geneigt, die Mitwirkung der Elektricität in Anspruch zu nehmen. Man findet bekanntlich in der Regel bei Blitzschlägen sehr häufig den gepflasterten oder mit Steinplatten belegten Boden aufgerissen, und da in den Tromben allezeit eine starke elektrische Spannung herrscht, so ist es wohl nicht zu kühn, anzunehmen, dafs in einzelnen Fällen ganz eigentliche Blitze aus ihnen in die Erde fahren und die genannten Wirkungen hervorbringen, ohne dafs man diese Blitze in der Wolke bestimmt sieht oder ihren Donner hört, entweder weil er sich in dem gesammten Getöse verliert, oder die Wolkenhülle, wie einen Schlauch oder eine Röhre, nicht genügend durchdringt, deren schnell wirbelnde Bewegung ohnehin die Erzeugung eines lauten

Donners hindern könnte. Da sich überhaupt ähnliche Wolken, als welche die Landtromben bilden, so häufig in starken und mitunter anhaltenden Blitzen ihrer Elektricität entladen, so dürfte es auffallend scheinen, dafs diese so selten während der Dauer der Tromben und meistens erst unmittelbar mit und nach ihrem Verschwinden wahrgenommen werden, und es führt dieses zu der Vermuthung, dafs diese gleichsam nothwendig bedingten Entladungen zwischen den Wettersäulen und der Erde allerdings statt finden mögen. Es ist nicht nothwendig, dafs hierbei die Blitze von den höheren Wolken ausgehn und zur Erde gelangen, vielmehr dient die Wettersäule dazu, sie der Erde näher zu bringen, wobei zugleich zu berücksichtigen ist, dafs die aus niederen Wolken, bei den sogenannten schweren, niedrig ziehenden Gewittern, ausfahrenden Blitze nicht eben die unwirksamsten sind, indem im Ganzen vielmehr das Gegentheil statt findet. Aus diesen hiernach höchst wahrscheinlich statt findenden elektrischen Entladungen der Landtromben lassen sich vielleicht noch einige andere Erscheinungen erklären, wobei jedoch keineswegs gefolgert werden kann, dafs sie allen Tromben als wesentlich begleitend angehören.

Auf gleiche Weise scheint mir eine blofse Wirbelbewegung nicht genügend, um das nicht selten der Bildung des Schlauches vorausgehende und nach dem Verschwinden desselben noch fortdauernde Aufbrausen des Wassers daraus abzuleiten, wie überhaupt dasselbe zu grofsartig, zu gewaltsam und von einer zu sehr eigenthümlichen Beschaffenheit ist, als dafs man es hierauf allein mit genügendem Grunde zurückführen könnte. Stellen wir uns vor, wie, so oft das Meer aufzubrausen beginnt, gleichzeitig oder erst etwas später an irgend einer Stelle des Himmels der Schlauch sich konisch herabzusenken anfängt und beide, wenn auch nur kurze Zeit, durch eine Luftschicht von tausend und mehr Fufs von einander entfernt sind, so wird es in der That schwer, sich von dem erzeugenden Wirbel eine klare Vorstellung zu machen. Die Annahme, als entstehe der Wirbel durch Zufall gleichzeitig oben und unten, dürfte allzukühn seyn, und ebenso die Voraussetzung, dafs die zu ihrer Erzeugung angenommenen Winde sich in der ganzen, hierzu erforderlichen, verticalen Ebene bewegen sollten, was ohnehin nicht wohl mit der gewöhnlich rings umher herrschenden Windstille verträglich ist. Ein Herabsinken des Wirbels

von oben nach unten, ohne dort Spuren seiner Wirksamkeit zu zeigen, und ein demnächstiges Wiederaufsteigen desselben, oder ein umgekehrtes Verhalten anzunehmen, um die angegebenen Erscheinungen zu erklären, scheint mir allzugewagt zu seyn. Aufserdem kann man, allen Beschreibungen nach, den Fufs der Wasserhosen nicht wohl als das Erzeugnifs blofser Wirbelbewegungen betrachten, denn man begreift in der That nicht, wie hierdurch das Wasser aufbrausen, lothrecht in Spitzen in die Höhe steigen und tropfenweise in parabolischen Bogen, wie verschiedene Zeichnungen dieses angeben, wieder herabfallen sollte. Keine unter allen mir vorgekommenen Darstellungen des Fufses der Tromben drückt eine so gewaltsame Wirbelbewegung aus, wodurch das Wasser zu einer solchen, bis 30 Fufs und darüber angegebenen Höhe gehoben werden könnte, und ebenso wenig ist die Gestalt der meisten mit der Vorstellung vereinbar, als würde das Wasser in den hohlen, luftleeren oder mit verdünnter Luft erfüllten Schlauch aufgesogen, noch weniger, als würde er von aus ihm strömender Luft zurückgestofsen, vielmehr gleicht er, mindestens in den bei weitem meisten Fällen, dem Erzeugnisse einer das Wasser von unten auf emporwerfenden Kraft, die zugleich einen grofsen Theil desselben durch starke Zertheilung in Dunst verwandelt.

Um dieses und das so oft bemerkte gleichzeitige Aufsteigen und Herabsinken des Dunstes und der Wassertropfen im Innern der Schläuche zu erklären, wüfste ich zu keiner andern Kraft meine Zuflucht zu nehmen, als zur Elektricität, welche ohnehin eine stete Begleiterin der Tromben ist. Diese Hypothese zur Erklärung, namentlich des letzteren Phänomens, dürfte mehr für sich haben, als wenn man die genannte Bewegung von Wirbeln ableiten wollte; denn diese zeigen sich am einfachsten und deutlichsten bei den sogenannten Sandwirbeln, bei denen niemals ein regelmäfsiges Aufsteigen und Herabsinken der Körper, sondern stets ein unordentliches durch einander Wirbeln derselben, mit einer vorherrschenden Tendenz zum Aufsteigen, wahrgenommen wird, wie es die Natur der Sache mit sich bringt. Dafs die Elektricität vermöge der ihr eigenthümlich zukommenden Anziehung und Abstofsung gerade solche Erscheinungen zu erzeugen vermöge, wie wir sie bei den Wettersäulen wahrnehmen, ist in Gemäfsheit zahlreicher

Versuche nicht zweifelhaft, wobei vorzüglich noch berücksichtigt werden muſs, daſs bei hochgesteigerter elektrischer Spannung in den Wolken allezeit eine entgegengesetzte Spannung des Bodens statt findet, ohne welches Verhalten die Erscheinungen des Blitzes nicht erklärbar seyn würden, und es bleibt daher nur noch fraglich, ob wir der Elektricität, wie sie in den Tromben vorhanden ist, eine hinlängliche Kraft beilegen dürfen, um so groſsartige Wirkungen hervorzubringen, als die Erfahrungen uns darbieten.

Diese Frage zu bejahen nehme ich durchaus keinen Anstand und glaube sogar, daſs sich eine hierauf zu gründende Hypothese durch gewichtige Argumente genügend werde unterstützen lassen. Ist einmal die Elektricität in der Wolkenregion bis zu einem solchen Grade der Spannung frei geworden, wie sich dieser in ähnlichen Fällen durch gewöhnliche Blitzschläge kund giebt, hat zugleich der Erdboden eine dieser proportionale, aber entgegengesetzte Spannung angenommen, was als nothwendig bedingt vorausgesetzt werden kann, so müssen hierdurch alle im Bereiche dieser Elektricitäten befindliche Körper, je nach ihrer Leichtigkeit und der auf sie einwirkenden Gewalt, in Bewegung kommen. Diese Bewegung, welche sich sofort auch den Dünsten und der Luft mittheilt, ist bekanntlich keine geradlinige, sondern allezeit eine wirbelnde, und das angeführte Beispiel der Eismassen und sonstige Erscheinungen zeigen genügend, bis zu welcher Geschwindigkeit und Stärke solche Bewegungen, sobald sie einmal begonnen haben und wenn dann die sie erzeugende Ursache auf sie zu wirken fortfährt, gesteigert zu werden pflegen. Hiermit ist also die Bewegung der Luft und der Dünste, und zwar die wirbelnde, mit allen ihren Wirkungen und Folgen gegeben; die fortschreitende aber, welche mit der der Winde zusammenfällt, bedarf hier keiner näheren Erörterung, auch ist oben bereits gesagt worden, daſs die wirbelnden Wettersäulen, sobald sie einmal die erforderliche Stärke erreicht haben, keineswegs ohne Unterbrechung in horizontaler Ebene fortschreiten, namentlich der vielen Hindernisse wegen auf dem Lande, sondern daſs sie sich bald heben, bald herabsenken müssen, beides mit nicht unbedeutender Gewalt, wie dieses die Erfahrung bestätigt.

Inzwischen ist gleichfalls, und zwar gewiſs mit Recht, oben bemerkt worden, daſs die Wirbelbewegungen nicht genügen, um

die Bildung des Fuſses der Wasserhosen aus ihnen abzuleiten. Die Anhänger der elektrischen Theorie sind geneigt, hierfür die elektrische Anziehung in Anspruch zu nehmen, und sie werden sich auch nicht durch das Argument für widerlegt halten, daſs diese Kraft unmöglich ein Aufspritzen des Wassers bis zu 30, ja der Angabe nach sogar 50 Fuſs Höhe bewirken könne, weil wir kein Maſs für die Gewalt der atmosphärischen Elektricität besitzen; unbefangene Physiker können sich aber zuverlässig das hierbei statt findende Miſsverhältniſs zwischen Ursache und Wirkung nicht verhehlen. Auch hierüber geben aber analoge Erscheinungen genügende Aufklärung. Erwägt man, auf welche Weise die gewöhnlichen Wasserwellen[1] erzeugt und vergröſsert werden, so ergiebt sich bald, daſs ein einzelner Luftstoſs nicht im Stande seyn kann, solche enorme Wassermassen aufzuthürmen, die aber dennoch durch wiederholte Stöſse gebildet werden, und diesemnach kann man nicht wohl umhin, das Aufbrausen des Fuſses bei den Wassersäulen von ähnlichen Ursachen abzuleiten. Auch bei diesen werden die Wassertheilchen wiederholt, und dem Anscheine nach in schnell auf einander folgenden Wechseln, angezogen und zurückgestoſsen, wonach also die Kraft doppelt wirkend seyn müſste, wenn sie anders nicht einfach ist und die angehobenen Partikeln nach aufhörender Anziehung von selbst wieder zurückfallen; jedenfalls entsteht hierdurch eine andauernde Wellenbewegung, die stets zunimmt, wenn die wirkende Ursache fortdauert, und somit die Bewegung stets wieder erneuert. Schon Franklin verglich diese Oscillationen mit denen einer Glocke, die durch fortgesetzte Stöſse mit nur einem Finger allmälig in eine jeden Widerstand überwindende gewaltsame Bewegung versetzt werden kann. Läſst man einen Wassertropfen in eine ruhig stehende Wassermasse von nicht eben bedeutender Höhe herabfallen[2], so pflegen Wassercylinder oder Kegel oder nur ein oder einige Tropfen bis zu einer Höhe emporzuspringen, die der des herabfallenden Tropfens beinahe gleichkommt; wie viel bedeutender müſste aber diese Wirkung seyn, wenn die aufspringende Masse gleichzeitig entweder von oben her angezogen oder von unten herauf abgestoſsen würde, und

1 Vergl. Art. *Wellen*, namentlich §. 7.

2 Vergl. ebendaselbst. §. 24 und die vorhergehenden §§.

beides, ja sogar beides zugleich, kann bei den Tromben allerdings als Folge der vorhandenen Elektricität statt finden. Es ist aber noch aufserdem ein sehr triftiger Grund vorhanden, die aufbrausende Bewegung des Wassers im Fufse der Tromben auf die Bewegung der Wellen zurückzuführen, denn beide nehmen an Höhe und Umfang ab, sobald die Tiefe des Wassers abnimmt, wie sich sowohl im Allgemeinen aus den Beschreibungen entnehmen läfst, als auch von Michaud (§. 13) ausdrücklich erwähnt wird.

Hiernach lassen sich also durch Vereinigung beider Hypothesen, die bisher auf nicht verwerfliche Gründe gestützt über die Wettersäulen aufgestellt wurden, auch diese Meteore insoweit genügend erklären, als dieses bei den Erscheinungen dieser Art billig gefordert werden darf, ohne in alle Einzelheiten einzugehn, was nach den vorausgehenden ausführlichen Betrachtungen hier unnöthig seyn dürfte.

M.

Widerstand.

Widerstand der Mittel; *Resistentia mediorum*; Résistance des milieux; *Resistance.*

Unter dem Namen *Widerstand* begreift man in der Mechanik alles das, was der Wirkung irgend einer Kraft entgegenwirkt und dadurch dieselbe in ihrer Gröfse oder Richtung ändert. So leistet die Unterlage (*Hypomochlium*) des Hebels der Wirkung der an ihm angebrachten Gewichte Widerstand; so erfährt man bei dem Zerbrechen oder Zerreifsen der Körper einen Widerstand, der von dem Zusammenhange ihrer Elemente, von der Attraction abhängt, mit welcher die kleinsten Theile der Körper sich gegenseitig anziehn u. s. w. Ueber die letztere Art des Widerstandes hat schon Galilei sinnreiche Betrachtungen angestellt, die dann später mehr ausgebildet wurden von Mariotte, Leibnitz, Varignon, Musschenbroek [1] und in den neuesten Zeiten von Brewster,

---

1 Dissert. phys. Lugd. Bat. 1729.

Coulomb, Eytelwein u. A., wie bereits ausführlicher gezeigt worden ist[1]. Hier aber handelt es sich, wie schon die Ueberschrift des Artikels sagt, um denjenigen Widerstand, welchen feste Körper erfahren, wenn sie sich, nicht im leeren Raume, sondern in der Luft, im Wasser oder in sonst einer Flüssigkeit bewegen. Bei einer solchen Bewegung muſs nämlich der feste Körper die auf seinem Wege liegenden Theile des flüssigen Körpers, in welchem er sich bewegt, aus der Stelle treiben, wodurch der Kraft, die ihn bewegt, entgegengewirkt, wodurch also auch die Geschwindigkeit und selbst die Richtung dieser Bewegung geändert wird.

Dieser Widerstand kann eine bloſse Folge der *Trägheit* der einzelnen Theile der Flüssigkeit seyn, in welcher sich der Körper bewegt, welche Theile nämlich, um aus ihrer Stelle gebracht zu werden, eine gewisse Kraft erfordern, die daher, da sie von dem bewegten festen Körper kommt, für die eigentliche Bewegung dieses festen Körpers verloren geht. Sie kann aber auch noch überdieſs eine Folge des *Zusammenhangs* dieser einzelnen Theile der Flüssigkeit seyn, da diese ohne Zweifel auch eine Attraction gegen einander äuſsern, wie die Theile der festen Körper, wenn auch nur eine weit geringere, so daſs also der in einem widerstehenden Mittel bewegte Körper nicht nur die einzelnen Atome dieses Mittels von ihrer Stelle bringen, sondern auch noch die Attraction dieser Atome aufheben oder das flüssige Mittel im eigentlichen Sinne des Wortes zerreiſsen oder zerbrechen muſs.

Newton[2], der die hierher gehörenden Untersuchungen zuerst mit dem ihm eigenen Scharfsinn behandelt hat, gelangte zu dem Resultate, daſs bei den in der Natur statt habenden Bewegungen der Körper in widerstehenden Mitteln der *Widerstand sich wie das Quadrat der Geschwindigkeit* des bewegten Körpers verhalte.

Wir sind über die Richtigkeit dieses Resultats, aller Bemühungen der gröſsten Geometer ungeachtet, nicht eben viel weiter gekommen, als Newton. Wir wissen nur, daſs der Widerstand, welchen vorzüglich die Luft den in ihr bewegten Körpern entgegensetzt, von der Dichte dieses Mittels, von der

---

1 S. Art. *Cohaesion*. Bd. II. S. 148.

2 Principia Philos. nat. Lib. II.

Gestalt des bewegten Körpers und von der Geschwindigkeit dieser Bewegung abhängt, und dafs man in den meisten Fällen sehr von den wirklichen Beobachtungen abweichende Resultate der Rechnung erhält, wenn man den Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzt, obgleich man nichts Besseres zu substituiren weifs, da alle andere Voraussetzungen, die man bisher versucht hat, noch viel mehr von der Erfahrung abweichen. Unsere Theorie des Widerstandes ist daher noch sehr unvollkommen und wird es, wie es scheint, auch noch sehr lange bleiben, da die ungleiche Dichtigkeit der Luftschichten und die stetigen Veränderungen derselben den Beobachtungen sowohl, als auch den Berechnungen derselben grofse Schwierigkeiten entgegensetzen.

Man hat anfänglich geglaubt, dafs sich diese Theorie am besten unmittelbar aus derjenigen entwickeln lassen werde, die man für den Stofs der harten und der elastischen Körper aufgestellt hat. Nennt man M und C die Masse und die Geschwindigkeit eines ersten und m, c die Masse und Geschwindigkeit eines zweiten Körpers, und nimmt man an, dafs sie beide auf derselben geraden Linie und in derselben Richtung fortgehn, so dafs m der vorangehende und M der folgende, und dafs das Product MC gröfser, als mc ist, so hat man[1], wenn beide Körper vollkommen *unelastisch* sind, für die Geschwindigkeit x beider Körper nach dem Stofse

$$x = \frac{MC + mc}{M + m},$$

so dafs demnach, nach dem Stofse, die beiden Körper mit derselben gemeinschaftlichen Geschwindigkeit x fortgehn. Bewegen sich beide Körper nach entgegengesetzten Richtungen, so wird man in dem Ausdrucke für x die Gröfse c negativ setzen. War der zweite Körper vor dem Stofse in Ruhe, so ist $c = 0$. Ist die Masse M des ersten Körpers gegen die des zweiten unendlich grofs, so ist $m = 0$ und daher $x = C$.

Sucht man endlich die durch den Stofs hervorgebrachten *Veränderungen der Geschwindigkeiten*, so sind diese bei dem ersten Körper

$$C - x = m \cdot \frac{C - c}{M + m}$$

1 Vergl. Art. *Stofs*. Bd. VIII. S. 1067.

und bei dem zweiten

$$x - c = M \cdot \frac{C - c}{M + m}$$

und die Division der beiden letzten Gleichungen giebt

$$m(x - c) = M(C - x).$$

Anders verhält sich die Sache bekanntlich für vollkommen *elastische* Körper. Behält man wieder die früheren Bezeichnungen bei und läfst, wie zuvor, m den vorangehenden Körper und $MC > mc$ seyn, so hat man, wenn beide Körper nach derselben Richtung fortgehn, für die Geschwindigkeit nach dem Stofse

$$\left.\begin{array}{ll} \text{bei dem ersten Körper} & V = 2x - C \\ \text{und bei dem zweiten} \;\ldots & v = 2x - c \end{array}\right\} \ldots \quad (1)$$

wo x die alte Bedeutung hat, oder wo der Werth der hier als eine blofse Hülfsgröfse betrachteten Gröfse

$$x = \frac{MC + mc}{M + m}$$

ist. Aus diesen beiden Gleichungen folgt

$$v - V = C - c,$$

so wie

$$C - V = 2(C - x)$$

und

$$v - c = 2(x - c).$$

Man sieht daher, dafs man für die Veränderungen der Geschwindigkeiten der Körper vor und nach dem Stofse hat: bei unelastischen Körpern

$$C - x \text{ und } x - c$$

und bei vollkommen elastischen

$$2(C - x) \text{ und } 2(x - c).$$

Da die Körper, wie wir sie in der Natur kennen gelernt haben, weder vollkommen unelastisch, noch auch vollkommen elastisch sind, so wird man also für die natürlichen Körper die Veränderungen ihrer Geschwindigkeiten nach dem Stofse gleich

$$\lambda.(C - x) \text{ und } \lambda.(x - c)$$

setzen, wo λ irgend einen Bruch bezeichnet, der zwischen den beiden Zahlen 1 und 2 liegt. Wäre z. B. bei gewissen Körpern die von der Elasticität herrührende Aenderung nur halb so grofs, als sie bei vollkommen elastischen Körpern ist, so würde

man $\lambda = \frac{3}{2}$ setzen. Für Bleikugeln wird man, da dieses Metall nur sehr wenig elastisch ist, λ auch wenig gröſser, als 1, und für Kugeln von Elfenbein, die bekanntlich sehr elastisch sind, λ nur wenig kleiner als 2 setzen u. s. w.

Dieselben zwei Gleichungen (I) geben noch, wenn man die erste durch M und die andere durch m multiplicirt und die Producte addirt,

$$MV + mv = 2(M + m)x - MC - mc,$$

oder wenn man hierin den vorhergehenden Werth von x substituirt,

$$MV + mv = MC + mc \quad \ldots \quad (II).$$

Man nennt aber das Product der Masse eines Körpers in seine Geschwindigkeit die *bewegende Kraft* dieses Körpers. Die Gleichung (II) sagt daher, daſs die Summe der bewegenden Kräfte zweier Körper vor und nach dem Stoſse einander gleich ist. Ebenso findet man, wenn man von den Gleichungen (I) die erste durch MV und die zweite durch mv multiplicirt und die Producte addirt,

$$MV^2 + mv^2 = MC^2 + mc^2 \quad \ldots \quad (III)$$

und da man das Product der Masse eines Körpers in das Quadrat seiner Geschwindigkeit die *lebendige Kraft* des Körpers nennt, so folgt aus der Gleichung (III), daſs die Summen der lebendigen Kräfte zweier Körper vor und nach dem Stoſse unter sich gleich seyn müssen, vorausgesetzt, daſs die Körper vollkommen elastisch sind, denn bei unelastischen ist dieses keineswegs der Fall, da bei diesen durch den Stoſs immer ein Theil der lebendigen Kraft verloren geht.

Für den Fall, daſs die Massen beider Körper gleich groſs sind oder daſs M = m ist, geht die vorhergehende Gleichung

$$x = \frac{MC + mc}{M + m}$$

in folgende einfache über:

$$2x = C + c,$$

und mit diesem Werthe von 2x geben die Gleichungen (I):

$$V = c \text{ und } v = C.$$

Für den Fall gleicher Massen verwechseln demnach die vollkommen elastischen Körper ihre Geschwindigkeiten durch den Stoſs, und wenn einer der beiden Körper vor dem Stoſs in

Ruhe war, so wird nach dem Stoſse der andere in Ruhe bleiben und der erste wird die ursprüngliche Geschwindigkeit des andern annehmen.

Hat man demnach eine Reihe von vollkommen elastischen Kugeln, die alle dieselbe Masse haben, in einer geraden Linie aufgestellt, und bewegt sich von diesen Kugeln bloſs die erste in der Richtung dieser geraden Linie und mit der Geschwindigkeit C, so wird diese erste Kugel in dem Augenblick, wo sie die zweite ruhende trifft, durch ihren Anstoſs an diese zweite Kugel in Ruhe versetzt, und die zweite wird dafür dieselbe Geschwindigkeit C erhalten, mit welcher sie fortgehn und die dritte Kugel treffen wird. Im Augenblicke des Stoſses der zweiten Kugel auf die dritte wird die zweite in Ruhe und dafür die dritte in Bewegung mit der Geschwindigkeit C versetzt, und so fort, bis auf die letzte dieser Kugeln, die dann mit derselben Geschwindigkeit C ungehindert fortgehn wird. Nach allen diesen Stöſsen, welche die Kugeln eine nach der andern erleiden, werden also alle Kugeln, bis auf die letzte, in Ruhe seyn, und diese letzte wird dafür diejenige Geschwindigkeit haben, welche vor diesen Stöſsen die erste Kugel hatte. Da dieses Resultat ganz unabhängig ist von den Zwischenräumen, welche diese Kugeln anfänglich trennten, so wird es offenbar auch dann noch gelten, wenn diese Zwischenräume ganz verschwinden, oder wenn sie alle, bis auf die erste, in unmittelbarer Berührung unter einander stehn und in diesem Zustande von der bewegten ersten Kugel getroffen werden. Dann wird nämlich diese erste Kugel im Augenblick, wo sie die zweite berührt, in Ruhe versetzt, und auch alle anderen Kugeln werden in ihrer Ruhe verbleiben, ausgenommen die allerletzte von der Reihe, die sich allein von dieser Reihe ablösen und mit der Geschwindigkeit, welche die erste Kugel vor dem Stoſse hatte, ihren Weg weiter fortsetzen wird, ein Satz, von dessen Richtigkeit man sich auch sehr leicht auf eine praktische Weise, z. B. auf dem Billard, versichern könnte, wenn er nicht schon durch die vorhergehenden Schlüsse über jeden Zweifel erhoben wäre.

Mit diesen Erscheinungen bei dem Stoſse der Körper wollte man nun diejenigen verbinden oder sie ihnen assimiliren, die bei der Bewegung der festen Körper in widerstehenden Mitteln statt haben, indem man sich vorstellte, daſs der feste Körper

während seiner Bewegung die Theilchen, aus welchen das widerstehende Mittel (Luft, Wasser u. dgl.) besteht, gleichsam vor sich herstofse. Nehmen wir, um die Art dieser Verbindung näher zu zeigen, an, dafs der feste Körper ein gerader Cylinder mit kreisförmiger Basis sey, der sich in der Richtung seiner Länge bewegt. Sey ω die Fläche seiner Basis und m die Masse des Cylinders, so wie ϱ die Dichtigkeit des widerstehenden Mittels, in welchem sich dieser Cylinder bewegt. Am Ende der Zeit t sey v die Geschwindigkeit und x die Distanz der vorderen Basis des Cylinders von einem festen Puncte, in der Linie der Bewegung des Cylinders oder in der Richtung der Axe dieses Cylinders gemessen. Diesem gemäfs hat man, nach den ersten Vorschriften der Mechanik,

$$\partial x = v . \partial t.$$

In dem Augenblicke ∂t durchläuft die erwähnte Basis des Cylinders den Weg ∂x, wobei also der Cylinder an alle die Elemente des Mittels anstofsen wird, die in einer Schrittfläche enthalten sind, deren Basis ω, deren Höhe ∂x und deren Masse gleich $\varrho \omega \partial x$ ist. Betrachtet man nun alle diese Elemente als isolirt und ohne Einwirkung auf die sie zunächst umgebende Flüssigkeit, so wird man, nach dem Vorhergehenden, für die Veränderung der bewegenden Kraft, die der Cylinder während der Zeit ∂t durch den Widerstand des Mittels erfahren hat, das Product seiner Geschwindigkeit v in die gestofsene Masse des Mittels $\varrho \omega \partial x$, also das Product $v . \varrho \omega \partial x$ annehmen, wenn das widerstehende Mittel unelastisch ist, oder das Doppelte dieser Gröfse, d. h. $2 v . \varrho \omega \partial x$, wenn das Mittel als ein vollkommen elastisches angesehn wird.

Man hat gefunden, dafs der erste Werth $v \varrho \omega \partial x$ besser mit den Experimenten, die man über den Widerstand angestellt hat, übereinstimmt, als der zweite. Nimmt man also jenen als den wahren an, und bemerkt man, dafs das Product $m . \partial v$ der allgemeine Ausdruck der Aenderung der bewegenden Kraft ist, welche die Masse m, die mit der Geschwindigkeit v fortgeht, erleidet, so hat man die Gleichung

$$m \partial v = - v \varrho \omega \partial x,$$

oder wenn man für ∂x seinen Werth $v \partial t$ substituirt,

$$m . \frac{\partial v}{\partial t} = - \varrho \omega v^2,$$

und dieses ist daher, unter jenen Voraussetzungen, die be-

wegende Kraft, die von dem Widerstande des Mittels kommt, wenn die Oberfläche des in diesem Mittel bewegten Körpers eine Ebene ist, die senkrecht auf die Richtung dieser Bewegung steht. Dieser Widerstand ist also, wie die letzte Gleichung zeigt, der Dichte ϱ des Mittels, der Oberfläche ω, auf welcher der Widerstand ausgeübt wird, und endlich dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional. Nennt man h die Höhe, die dieser Geschwindigkeit v für im freien Raume fallende Körper zugehört, so hat man, wenn g (nahe 30,196 Par. Fuſs) die Schwere bezeichnet[1],

$$v^2 = 2gh.$$

Unsere vorhergehende Gleichung wird daher seyn

$$m \cdot \frac{\partial v}{\partial t} = -2 g \varrho \omega h$$

und daraus folgt, daſs der gesuchte Widerstand der Flüssigkeit gleich ist dem *Gewichte* eines aus dieser Flüssigkeit gebildeten Cylinders, dessen Basis jene auf die Richtung der Bewegung senkrechte Ebene und dessen Höhe gleich der doppelten Höhe ist, durch die ein Körper im leeren Raume fallen muſs, um diese Geschwindigkeit v zu erlangen. Das Gewicht eines Körpers ist nämlich nach dem, was oben[2] gesagt worden ist, gleich dem Producte der Schwere g in die Masse m des Körpers. Ist aber ϱ die Dichtigkeit dieser Masse und k das Volumen des Körpers, so ist bekanntlich $m = \varrho k$, also ist auch das Gewicht eines Körpers gleich $g \cdot m = g \varrho k$, und dieses dem obigen Ausdrucke $2 g \varrho \omega h$ gleich gesetzt giebt $k = 2 \omega h$, woraus der so eben ausgesprochene Satz unmittelbar hervorgeht.

Ist die Richtung der Bewegung nicht genau senkrecht auf die Ebene, welche den Widerstand erfährt, so zerlegt man die Geschwindigkeit des Körpers in zwei andere, von welchen die eine senkrecht und die andere parallel zu dieser Ebene ist. Die parallele Geschwindigkeit kann höchstens eine Art von Reibung in dieser Ebene hervorbringen, und von dieser Reibung wird in dieser Theorie des Widerstandes abstrahirt.

---

1 S. Art. *Fall der Körper*. Bd. IV. S. 6, wo aber das dort gebrauchte g nach der in den neuern Schriften über Mechanik eingeführten Bezeichnung doppelt genommen werden muſs.

2 S. Art. *Gewicht*. Bd. IV. S. 1487.

Bezeichnet man also durch n den Winkel, welchen eine auf die Ebene ω gestellte Normale mit der Richtung der Geschwindigkeit v macht, so wird unsere obige Gleichung in folgende übergehn:

$$m \cdot \frac{\partial v}{\partial t} = - \varrho \omega v^2 . \mathrm{Cos.}^2 n,$$

und dieses ist die Grundgleichung, aus welcher man, wie Newton zuerst versucht hat, die gesammte Theorie des Widerstandes der luftförmigen sowohl, als auch der tropfbaren Flüssigkeiten abzuleiten pflegt. Um hier wenigstens den Weg zu dieser Entwickelung zu zeigen, wollen wir die Bewegung im widerstehenden Mittel von einem Körper betrachten, der durch die Rotation einer krummen Linie ADB um seine Axe AB entstanden ist. Ist CD und PM senkrecht auf diese Axe, setzt man CP = x und PM = y und ist die Ordinate CD, die durch den Anfang der Coordinaten C geht, zugleich die gröfste aller Ordinaten der Curve ADB, so wird, wenn die Bewegung dieses Körpers in der Richtung von B nach A statt hat, derjenige Theil der Oberfläche des Körpers dem Widerstande der Flüssigkeit ausgesetzt seyn, welcher dem Theile DMA der erzeugenden Curve entspricht. Sei ∂s das Element des Bogens dieser Curve für irgend einen Punct M derselben, so hat man Fig. 190.

$$\mathrm{Cos.}\, n = \frac{\partial y}{\partial s}$$

für den Cosinus des Winkels, den die Normale in diesem Puncte M mit der Axe der x, das heifst, mit der Richtung der Bewegung bildet, und dieser Winkel wird derselbe bleiben für alle Puncte der Zone, die durch die Rotation des Elements ∂s um die Rotationsaxe AB entstanden ist. Die Oberfläche dieser Zone ist aber gleich $2\pi y \partial s$, und jedes Element dieser Zone wird daher einen auf dieses Element senkrechten Widerstand erleiden, der gleich ist dem Producte dieses Elements in die Gröfse $\varrho v^2 \mathrm{Cos.}^2 n$. Zerlegt man diese Kraft in zwei andere, von welchen die eine senkrecht und die zweite parallel zu der Axe AB ist, so ist klar, dafs von jenen senkrechten Kräften sich immer zwei gegenseitig aufheben. Von den parallelen Kräften aber wird jede gleich seyn der vorigen auf das Element normalen Kraft $\varrho v^2 \mathrm{Cos.}^2 n$, multiplicirt in denselben Cosinus von n, und die Summe aller dieser mit der Axe paral-

lelen Kräfte ist daher gleich der Oberfläche $2\pi y \partial s$ der erwähnten Zone, multiplicirt in die Gröfse ϱv^2 Cos.^{3} n. Nennt man daher ∂W den Widerstand, welchen diese Zone von der Flüssigkeit erfährt, so ist

$$\partial W = 2\pi\varrho v^2 . y \partial s \text{ Cos.}^3 n,$$

oder da Cos. n $= \frac{\partial y}{\partial s}$ war,

$$\partial W = 2\pi\varrho v^2 . \frac{y \partial y^3}{\partial s^2}.$$

Um daraus den gesuchten Totalwiderstand W des ganzen Körpers zu erhalten, wird man, wenn CD = a ist, den letzten Ausdruck von $y = 0$ bis $y = a$ integriren, so dafs man demnach hat

$$W = 2\pi\varrho v^2 . \int_0^a \frac{y \partial y^3}{\partial s^2} \quad . \; . \; . \quad (A)$$

Wenn der Körper eine Kugel ist, so ist C ihr Mittelpunct und die Gröfse a ihr Halbmesser. Nennt man dann Θ den Winkel MCA, so hat man

$$y = a \text{ Sin.} \Theta; \quad \partial y = a \partial \Theta \text{ Cos.} \Theta \text{ und } \partial s = a \partial \Theta,$$

so dafs daher der gefundene allgemeine Ausdruck für W in den folgenden übergeht:

$$W = 2\pi\varrho v^2 a^2 . \int_0^{\frac{1}{2}\pi} \text{Cos.}^3 \Theta \text{ Sin.} \Theta . \partial \Theta .$$

Es ist aber

$$\int \text{Cos.}^3 \Theta \text{ Sin.} \Theta . \partial \Theta = \tfrac{1}{4} \text{ Sin.} 4 \Theta + C,$$

wo C die Constante der Integration bezeichnet. Für $\Theta = 0$ ist dieses Integral gleich C, und für $\Theta = \frac{1}{2}\pi = 90°$ ist dasselbe gleich $C + \frac{1}{4}$, also ist auch

$$\int_0^{\frac{1}{2}\pi} \text{Cos.}^3 \Theta \text{ Sin.} \Theta \, \partial \Theta = \tfrac{1}{4}$$

und daher der gesuchte Widerstand bei der Kugel vom Halbmesser a

$$W = \tfrac{1}{2} \pi \varrho a^2 v^2.$$

Für den Widerstand W' des dieser Kugel umschriebenen Cylinders hatten wir oben den Ausdruck erhalten

$$W' = \varrho \varpi v^2,$$

wo ω die Basis dieses Cylinders, also $\omega = \pi a^2$ ist. Man hat daher

$$\frac{W}{W'} = \frac{\frac{1}{2}\pi a^2}{\omega} = \frac{1}{2},$$

oder der Widerstand der Kugel ist nur die Hälfte des Widerstandes, welchen der erwähnte Cylinder erleidet, wenn er sich in der Richtung seiner Axe und mit derselben Geschwindigkeit, wie die Kugel, bewegt.

Diese ersten Versuche, die Theorie des Widerstandes betreffend, hat Newton in seinen Principien aufgestellt, so wie auch er zuerst die Bewegung der Körper unter der Bedingung zu bestimmen gesucht hat, wenn die auf sie wirkenden Kräfte Functionen der Geschwindigkeiten sind, ein Fall, der, wie man aus allem Vorhergehenden sieht, bei der Lehre vom Widerstande durchaus statt hat. Er verglich auch die Resultate seiner Theorie mit unmittelbaren Versuchen, indem er die Zeit beobachtete, während welcher eine Kugel in der Luft durch eine große Höhe fällt, wobei er aber fand, daſs man, um zwischen der Rechnung und der Beobachtung eine Uebereinstimmung zu erhalten, den vorigen Werth von W nahe um seine Hälfte kleiner annehmen müsse, was allerdings für diese Theorie nicht sehr günstig war. Newton[1] fand nämlich unter dieser Voraussetzung des halben Werthes von W folgende Abweichungen der wahren Fallhöhe von 220 engl. Fuſs bei mehrern hohlen Glaskugeln:

I	Experiment	6	Fuſs	11	Zoll
II	—	10	—	9	—
III	—	7	—	10	—
IV	—	4	—	5	—
V	—	5	—	5	—
VI	—	10	—	7	—.

Alle berechneten Höhen waren zu groſs.

Noch etwas genauer stimmen, unter derselben Voraussetzung, die Versuche, welche im J. 1719 Desaguliers mit hohlen Kugeln von Schweinsblasen angestellt hat, überein. Er fand nämlich, bei einer Fallhöhe von 272 Fuſs, folgende Abweichungen der Rechnung von der Beobachtung:

---

1 Princip. Phil. nat. L. II. prop. 40.

I	Experiment	0 Fuſs	1 Zoll	zu klein	
II	—	0 —	$10\frac{1}{2}$ —	zu groſs	
III	—	0 —	7 —	-	—
IV	—	5 —	4 —	-	—
V	—	10 —	0 —	-	—

Wie viel dabei der Widerstand der Luft beträgt, sieht man daraus, daſs jene ersten Kugeln in Newton's Experiment im leeren Raume während 8 Secunden durch nahe 1000 Fuſs hätten fallen sollen, da sie doch in der Luft nur durch 220 oder höchstens durch 230 Fuſs gefallen sind. Noch gröſser ist dieser Unterschied bei Desaguliers' Versuchen, dessen Kugeln nahe 20 Secunden durch eine Höhe von 272 Fuſs in der Luft gefallen sind, da sie doch im leeren Raume während dieser Zeit durch 6039 Fuſs hätten fallen müssen.

Späteren Versuchen mit dem Pendel zufolge fing Newton an der Richtigkeit seiner Theorie des Widerstandes und besonders an der Wahrheit seiner bis dahin aufgestellten Hypothese, daſs der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sey, zu zweifeln an. Er neigte sich zu der Ansicht hin, daſs der Widerstand, dessen Gesetz er so lange gesucht hatte, wenigstens zwei Ursachen habe, von welchen nur die eine jenem Gesetze, die zweite aber einem ganz anderen folgen müsse. Am Ende sah er sich veranlaſst, die ganze Untersuchung fallen zu lassen.

In unseren Zeiten hat besonders Borda die Versuche Newton's wieder aufgenommen und gefunden, daſs der Ausdruck

$$W = \tfrac{3}{10}\,\pi\,\varrho\,a^2\,v^2$$

den Beobachtungen am besten entspreche. Nennt man D die Dichte der Kugelmasse, so ist diese Masse selbst gleich D multiplicirt in das Volumen $\frac{4}{3}a^3\pi$ der Kugel oder $= \frac{4}{3}\pi D a^3$. Dividirt man aber die Gröſse W durch diese Masse und nennt man f die accelerirende Kraft, die daraus entspringt, so hat man, wenn man den Werth von W nach Borda nimmt,

$$f = \tfrac{9}{40}\cdot\frac{\varrho\,v^2}{D\,a} = 0{,}225\,\frac{\varrho\,v^2}{D\,a}\quad\ldots\quad(B)$$

Es ist merkwürdig, daſs Lombard, einer der vorzüglichsten Schriftsteller über die Ballistik, aus seinen zahlreichen und sorg-

fältig angestellten Versuchen über die Tragweite der Kanonenkugeln ganz auf denselben Werth $\frac{9}{40}$ dieses Coefficienten von f gefallen ist, während Newton's oben gefundener Ausdruck

$$W = \tfrac{1}{2}\pi\varrho a^2 v^2$$

für die letzte Gleichung

$$f = \tfrac{3}{8}\cdot\frac{\varrho v^2}{Da} = 0{,}375\cdot\frac{\varrho v^2}{Da}$$

oder um mehr als die Hälfte gröfser giebt.

Die obige Gleichung (A) giebt auch zugleich ein Mittel, unter allen Rotationskörpern denjenigen zu bestimmen, der, in einer Flüssigkeit bewegt, den kleinsten Widerstand erleidet. Dieser Körper wird nämlich derjenige seyn, für welchen das Integral

$$\int_0^a \frac{y\,\partial y^3}{\partial s^2}$$

ein *Minimum* ist. Die Auflösung dieses Problems gehört in das Gebiet der *Variationsrechnung*. Hier wird es genügen, zu bemerken, dafs die krumme Linie, durch deren Rotation der gesuchte Körper des kleinsten Widerstandes entsteht, erhalten wird, wenn man aus folgenden beiden Gleichungen, in welchen a und b zwei willkürliche Constanten bezeichnen, die Gröfse $p = \frac{\partial y}{\partial x}$ eliminirt:

$$x = \tfrac{1}{2}a\left[\frac{3}{4p^4} + \frac{1}{p^2} + 1 + \text{Log.}\,p\right] + b,$$

$$y = \frac{a(1+p^2)^2}{2p^3}.$$

Newton hat in seinen Principien die Auflösung dieses Problems, aber nicht das Mittel, zu dieser Auflösung zu gelangen, mitgetheilt. Es war dieses der erste Fall, wo eine Aufgabe dieser Art aufgelöst wurde, für welche später, da sie eine eigene Art von Rechnung begründen, der Variationscalcül aufgestellt worden ist.

Die ganze vorhergehende Theorie des Widerstandes beruht, wie man sieht, auf einer sehr willkürlichen und unbestimmten Vergleichung der Wirkung, welche eine Flüssigkeit auf die in ihr bewegten Körper ausübt, mit dem Stofse, welchen zwei oder mehrere Körper bei ihrer Begegnung erleiden.

Am wenigsten wird bei dieser Vergleichung die Hypothese festzuhalten seyn, dafs bei dem Begegnen des festen Körpers mit den Elementen der Flüssigkeit diese Elemente *isolirt* auf den Körper wirken, da sie doch gewifs auch zugleich auf sich selbst einen gegenseitigen Einflufs ausüben müssen, auf den aber jene Theorie keine Rücksicht nimmt. Daher mag es denn auch kommen, dafs die Resultate der Rechnung mit den darüber angestellten Experimenten so wenig übereinstimmen. Ohne Zweifel ist der Widerstand, den ein fester Körper, der sich in einer Flüssigkeit bewegt, von dieser letztern erleidet, zusammengesetzt aus den Pressungen, welche die Flüssigkeit auf den ganzen bewegten Körper ausübt, und aus den inneren Bewegungen und Reibungen, die durch das Ausweichen der Flüssigkeiten der Oberfläche des Körpers und durch die Trennung derjenigen Theile der Flüssigkeit, zwischen welche sich der feste Körper hineindrängt, entstehn, so dafs es daher in einer wahren Theorie des Widerstandes nöthig seyn wird, zu gleicher Zeit die Bewegungen des festen Körpers und die dadurch erzeugten Bewegungen der Flüssigkeit selbst zu berücksichtigen. So viel uns bekannt, haben Poisson und Coulomb bisher die einzigen Versuche gemacht, die Theorie des Widerstandes auf diese Weise zu bestimmen. Poisson hat seine Betrachtungen über diesen interessanten Gegenstand in einem schönen Aufsatze *sur les mouvemens simultanés d'un pendule et de l'air environnant* in den Mém. de l'Académie des Sciences Vol. XI. gegeben, und Coulomb's Arbeiten findet man im dritten Bande der Mémoires de l'Institut de Paris. Um von den letzten hier nur das Vorzüglichste kurz mitzutheilen, müssen wir zuerst das Instrument erklären, welches Coulomb für seine Versuche ausgedacht hat.

Fig. 191. Sey CD z. B. ein cylindrisches, oben offenes Gefäfs, das zum Theil mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt ist. Zwei kreisförmige dünne Scheiben p und r seyen an einer durch ihren Mittelpunct auf ihre Ebenen senkrecht stehenden Axe AB verbunden, und der obere Theil m dieser Axe werde durch einen feinen Metallfaden mn verbunden, der wieder in seinem obersten Theile n, z. B. in der Decke des Zimmers, befestigt ist. Die obere Scheibe p ist an ihrem Rande in gleiche Theile getheilt, und die Wand des Gefäfses trage einen Index pq, der in q an die Wand befestigt ist und mit seinem anderen

Ende p die Peripherie der oberen Scheibe berührt. Wird nun dieser Apparat der beiden Scheiben in das Innere des Gefäfses so weit eingesenkt, dafs die untere Scheibe r in der Flüssigkeit, die obere aber über der Flüssigkeit steht, dreht man die obere Scheibe sanft um ihre Axe A m n und überläfst sie dann sich selbst, so wird die obere, also auch zugleich die untere mit jener fest verbundene Scheibe, wegen der Torsion des Metallfadens m n, Oscillationen nach zwei entgegengesetzten Richtungen machen, und man wird, mittels des Index p q, von Zeit zu Zeit die Abnahme der Amplitüde dieser Oscillationen genau beobachten können.

Es ist klar, dafs bei diesen Versuchen derjenige Theil des Widerstandes, der von dem Drucke der Flüssigkeit auf den bewegten festen Körper, also gleichsam nur von der Trägheit der aus ihrer Stelle verdrängten Flüssigkeit herrührt, verschwindet, da hier in der That gar kein Theil der Flüssigkeit verdrängt wird, und dafs also nur der oben erwähnte zweite Theil des Widerstandes übrig bleibt, der aus der Cohäsion der Elemente der Flüssigkeit entspringt. Indem nun Coulomb eine grofse Anzahl solcher Beobachtungen der Rechnung unterwarf, gelangte er zu den drei folgenden Resultaten:

I. Derjenige Widerstand, der blofs aus der Cohäsion der flüssigen Elemente unter sich entspringt, verhält sich, wie die erste Potenz der Geschwindigkeit, und dieser Widerstand ist II. unabhängig von der Natur der Oberfläche des bewegten Körpers, und endlich auch III. unabhängig von dem Drucke, welchen die Flüssigkeit erleiden mag. Daraus wird demnach folgen, dafs der Totalwiderstand, den ein in einer Flüssigkeit bewegter Körper von dieser Flüssigkeit erfährt, aus zwei Theilen besteht, von welchen der eine der ersten und der andere der zweiten Potenz der Geschwindigkeit proportional ist. Bemerken wir noch, dafs der erste dieser Theile bei nicht zähen (nicht viscosen) Flüssigkeiten nur dann merkbar wird, wenn die Geschwindigkeit der Rotation der Scheibe sehr klein ist, da er im Gegentheile für grofse Geschwindigkeiten verschwindet, so dafs für sehr schnell bewegte Körper der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional angenommen werden kann.

Wir haben oben die accelerirende Kraft f des Widerstandes für Kugeln

$$f = \frac{\lambda \cdot \varrho \nu^2}{D r}$$

gefunden, wo r den Halbmesser der Kugel bezeichnet, so dafs demnach die *bewegende Kraft* dieses Widerstandes gleich

$$m f = \tfrac{4}{3} \lambda \pi \varrho \cdot \nu^2 \cdot r^2$$

seyn wird, indem die Masse des Körpers gleich dem Volumen, multiplicirt in die Dichte desselben, also $m = \frac{4}{3} \pi D r^3$ ist, wo D und ϱ die Dichte des festen und des flüssigen Körpers bezeichnen.

Diese Eigenschaft aber, dafs der Widerstand, unter übrigens gleichen Umständen, sich wie das Quadrat des Halbmessers der verschiedenen Kugeln verhalte, läfst sich nicht auf Körper von anderer Gestalt anwenden, wo dieses Gesetz viel zusammengesetzter erscheint. Aber auch die andern Erscheinungen der Bewegung fester Körper in flüssigen sind, nach Coulomb's Versuchen, vielen und grofsen Anomalien unterworfen, besonders wenn diese Bewegung sehr schnell ist und wenn die Flüssigkeit, wie dieses gewöhnlich bei Beobachtungen in Gefäfsen der Fall ist, in einen verhältnifsmäfsig nur geringen Raum eingeschlossen wird. Eine besonders wichtige Rücksicht wäre die auf die Erhebung der Flüssigkeit *vor* und auf die Vertiefung derselben *hinter* dem bewegten Körper, eine Vertiefung, die bei einer sehr schnellen Bewegung, und wenn der feste Körper in die Flüssigkeit ganz eingetaucht ist, sogar in einen leeren Raum übergehn kann, den der Körper auf seiner Bahn zunächst hinter sich auf einen Augenblick zurückläfst. Allein diese Rücksicht ist nicht leicht dem Calcül zu unterwerfen, und es wird überhaupt wohl noch sehr lange dauern, bis wir mit diesem Gegenstande ins Reine kommen, was man um so mehr beklagen mufs, da beinahe alle unsere Versuche in solchen widerstehenden Mitteln gemacht werden, so dafs die Physiker noch jetzt in derselben peinlichen Lage sind, wie früher die Astronomen zu der Zeit, als ihnen die Gesetze der astronomischen Refraction noch unbekannt waren, während doch alle ihre Beobachtungen, da sie in der Luft gemacht wurden, von dieser Refraction entstellt waren.

Auch das Gesetz des Widerstandes für Cylinder, die sich

nach der Richtung ihrer Axe in der Flüssigkeit bewegen, welches Gesetz wir oben durch die Gleichung

$$m.\frac{\partial v}{\partial t} = -2 g \varrho \omega h$$

ausgedrückt haben und welches lange Zeit als der Wahrheit vollkommen gemäfs beinahe allgemein angenommen wurde, stimmt doch nichts weniger als genau mit den darüber angestellten Experimenten überein. Man hat nämlich bemerkt, dafs auch die *Länge* dieser Cylinder von einem wesentlichen Einflusse auf den Widerstand ist, und dafs derselbe oft sehr stark geändert wird, wenn nicht blofs die vordere, sondern auch die hintere Basis eines solchen Cylinders auch nur eine sehr geringe Aenderung in ihrer Gestalt erhält, was ohne Zweifel wieder mit der Elevation der Flüssigkeit vor und der Depression nach dem bewegten Körper in einigem Zusammenhange steht, wie denn auch schon längst bekannt ist, dafs nicht blofs die Vordertheile, sondern auch die Hintertheile der Schiffe eine bestimmte Form haben müssen, wenn sie gut und schnell segeln sollen.

Wenn wir auf diese Weise von dem Widerstande solcher Körper, die sich mit einer vorderen *ebenen* und *senkrecht* auf ihrem Laufe stehenden Fläche bewegen, noch so wenig Verläfsliches anführen können, so wird man über den Widerstand, den *krumme* Flächen erleiden, noch kaum eine Frage aufstellen dürfen. In der That haben sich alle Hypothesen, die man für krumme Flächen bisher aufgestellt hat, als durchaus unzulässig erwiesen. Alles, was man über sie bisher gefunden hat, besteht in den beiden Sätzen, die man übrigens ohne Experimente und ohne alle gelehrte Theorie auch hätte errathen können, dafs nämlich erstens eine gegen die Richtung der Bewegung schiefe oder geneigte Ebene einen um so geringeren Widerstand erfährt, je kleiner die Neigung der Ebene gegen die Richtung der Bewegung ist, und zweitens, dafs der Widerstand einer concaven Fläche gröfser ist, als der einer convexen.

Auch über den Einflufs der hinteren Fläche des bewegten Körpers auf den Widerstand hat COULOMB interessante Versuche angestellt. So fand er z. B., wenn er den Widerstand für eine ganze Kugel gleich 60 annahm, für den Widerstand einer

Halbkugel, wenn die convexe Seite bei der Bewegung voraus geht, nur 58, aber wenn die convexe Seite die hintere ist, nahe das Doppelte oder 129; für einen Kegel, dessen Basis ein Kreis von demselben Halbmesser mit jenem der Kugel ist, fand er auch den Widerstand gleich 60, wie bei der Kugel, wenn er mit der Spitze voraus sich bewegt, aber nahe 140, wenn die Basis des Kegels vorausgeht, u. s. w.

Wenn ein Körper um irgend eine seiner Axen nach allen Seiten symmetrisch gestaltet ist, und wenn er sich in der Richtung dieser Axe in einer Flüssigkeit bewegt, so wird der Widerstand, welchen ihm die Flüssigkeit entgegensetzt, auf eine mittlere Kraft zurückgebracht werden können, deren Richtung offenbar auch in dieser Axe des Körpers liegen muſs. Ist W dieser Widerstand der Flüssigkeit und m die Masse des in ihm bewegten festen Körpers, so wird die aus diesem Widerstande entstehende accelerirende Kraft f seyn

$$f = \frac{W}{m}.$$

Wenn der Körper in senkrechter Richtung auf die Flüssigkeit fällt, so wird der Widerstand, den er erfährt, da derselbe der Wirkung der Schwere g entgegengesetzt ist, g — f seyn. Für solche Körper aber, die in der Flüssigkeit senkrecht aufsteigen, wird im Gegentheile die ganze accelerirende Kraft negativ und gleich $-(g+f)$ seyn. Der Widerstand W selbst aber wird, wie bereits gesagt, von der Geschwindigkeit v, von der Gestalt und der Dichtigkeit D des festen Körpers und endlich auch von der Dichtigkeit ϱ der Flüssigkeit auf irgend eine Weise abhängig seyn. Es ist schwer, diese Weise für alle Fälle, die hier vorkommen können, genau zu bestimmen, besonders schwer aber, die Abhängigkeit der Gröſse W von der Geschwindigkeit v anzugeben. Nimmt man indeſs mit den meisten Schriftstellern über diesen Gegenstand an, daſs der Widerstand sich wie das Quadrat der Geschwindigkeit verhalte, so wird man

$$W = \lambda \varrho v^2$$

setzen können, wo λ ein Coefficient ist, welcher von der Form und Dichtigkeit des festen Körpers und von der Dichtigkeit und vielleicht auch der Temperatur der Flüssigkeit abhängen wird.

Ist der feste Körper eine Kugel vom Halbmesser r, so ist das Volumen derselben

$$V = \frac{4}{3} r^3 \pi$$

und da die Masse jedes Körpers gleich dem Producte seines Volumens in seine Dichte D ist,

$$m = \frac{4}{3} \pi . D r^3,$$

und dadurch geht der obige Ausdruck für f in den folgenden über:

$$f = \frac{W}{m} = \frac{3 \lambda \varrho v^2}{4 \pi D r^3}$$

oder endlich, da bei der Kugel der Coefficient λ der Oberfläche der Kugel oder dem Quadrat ihres Halbmessers proportional seyn mufs,

$$f = \frac{\lambda . \varrho v^2}{D r},$$

wo λ einen numerischen Coefficienten bezeichnet, der für alle Kugeln derselbe bleibt und dessen Werth für jede einzelne Flüssigkeit besonders auf dem Wege der Experimente bestimmt werden mufs. Nach Borda's oben erwähnten Versuchen (Gleichung B) ist für die atmosphärische Luft $\lambda = \frac{9}{40}$. Da übrigens die Gröfse f, als eine accelerirende Kraft, von derselben Natur, wie die Schwere g ist, so folgt, dafs, wenn man durch c eine bestimmte Geschwindigkeit bezeichnet, die Gröfse $\frac{D r}{\lambda \varrho}$ gleich $\frac{c^2}{g}$ gesetzt werden kann, wo dann

$$\frac{f}{g} = \frac{v^2}{c^2} \text{ oder } f = \frac{g v^2}{c^2} \quad \ldots \quad (C)$$

seyn wird.

A. Senkrecht fallende und steigende Körper in widerstehenden Mitteln.

Dieses vorausgesetzt betrachten wir nun die Bewegung eines festen Körpers, der in irgend einem widerstehenden Mittel der Wirkung der Schwere überlassen wird und der daher in diesem Mittel senkrecht abwärts fällt. Zur gröfseren Vereinfachung der Aufgabe wollen wir die Dichtigkeit des Mittels in allen seinen Theilen constant annehmen. In diesem Falle wird daher die auf den Körper wirkende accelerirende Kraft gleich g — f seyn, wo f dieselbe Bedeutung, wie in der vorhergehenden Gleichung (C) hat. Da aber der allgemeine Ausdruck

der accelerirenden Kraft gleich $\frac{\partial v}{\partial t}$ ist, wenn v die Geschwindigkeit des Körpers bezeichnet, so hat man

$$\frac{\partial v}{\partial t} = g - f,$$

oder wenn man den Werth von f aus der Gleichung (C) substituirt,

$$g \partial t = \frac{c^2 \partial v}{c^2 - v^2},$$

und davon ist das Integral, wenn v mit t zugleich verschwindet,

$$g t = \tfrac{1}{2} c . \text{Log.} \frac{c + v}{c - v} \quad \ldots \quad (1)$$

oder auch, wenn e die Basis der natürlichen Logarithmen bezeichnet,

$$\frac{c - v}{c + v} = e^{-\frac{2 g t}{c}},$$

woraus sofort für die Geschwindigkeit des Körpers zu jeder gegebenen Zeit t folgt

$$v = \frac{c . \left\{ e^{\frac{g t}{c}} - e^{-\frac{g t}{c}} \right\}}{e^{\frac{g t}{c}} + e^{-\frac{g t}{c}}} \quad \ldots \quad (D)$$

Um nun auch den zurückgelegten Weg x des Körpers für jede Zeit t zu bestimmen, hat man $\partial x = v \partial t$, also auch

$$\partial x = \frac{c . \left\{ e^{\frac{g t}{c}} - e^{-\frac{g t}{c}} \right\} . \partial t}{e^{\frac{g t}{c}} + e^{-\frac{g t}{c}}} .$$

Um diese Gleichung zu integriren, setze man

$$e^{\frac{2 g t}{c}} = z,$$

also auch

$$\partial t = \frac{c \partial z}{2 g z},$$

so dafs man daher hat

$$\partial x = \frac{c^2}{2g} \cdot \frac{(z-1) . \partial z}{(z+1) z} = \frac{c^2}{2g} \cdot \left\{ \frac{\partial z}{z+1} - \frac{\partial z}{z(z+1)} \right\}$$

und davon ist das Integral

$$x = \frac{c^2}{2g} \cdot \left\{ \text{Log.}(z+1) - \text{Log.} \frac{z}{z+1} \right\} = \frac{c^2}{g} . \text{Log.} \frac{1+z}{\sqrt{z}},$$

also auch, wenn man den Werth von z wieder herstellt,

$$x = \frac{c^2}{g} \left\{ \text{Log.} e^{\frac{gt}{c}} + e^{-\frac{gt}{c}} \right\} + \text{Const.}$$

Zur Bestimmung der Constante der Integration hat man, da $x = 0$ für $t = 0$ ist,

$$0 = \frac{c^2}{g} . \text{Log.} 2 + \text{Const.};$$

also ist auch der gesuchte Werth von x für jede gegebene Zeit t

$$x = \frac{c^2}{g} . \text{Log.} \frac{e^{\frac{gt}{c}} + e^{-\frac{gt}{c}}}{2} \quad . . . \quad (E)$$

Will man endlich noch die Abhängigkeit der beiden Gröfsen x und v suchen, so hat man, wie zuvor,

$$g \partial t = \frac{c^2 \partial v}{c^2 - v^2} \text{ und } \partial t = \frac{\partial x}{v},$$

also auch, wenn man ∂t aus diesen beiden Gleichungen eliminirt,

$$g \partial x = \frac{c^2 . v \partial v}{c^2 - v^2}$$

und davon ist das gesuchte Integral, da v mit x verschwindet,

$$x = \frac{c^2}{2g} . \text{Log.} \frac{c^2}{c^2 - v^2} \quad . . . \quad (F)$$

Die Gleichungen D, E und F enthalten die vollständige Auflösung des Problems.

Aus der Gleichung (D) folgt sofort der merkwürdige Satz, dafs bei allen Körpern, die in widerstehenden Mitteln von durchaus gleicher Dichtigkeit senkrecht herabfallen, die Geschwindigkeit v sich immer mehr und mehr einer constanten Geschwindigkeit c nähert, aber dieselbe doch erst in einer un-

endlichen Zeit völlig erreicht. Ist nämlich die Zeit t sehr grofs, so wird die Gröfse

$$e^{-\frac{gt}{c}}$$

sehr klein, und dann geht die Gleichung (D) sehr nahe in die folgende einfache

$$v = c$$

über. Dieses folgt daraus, dafs, für eine lange Zeit des Falls, die Geschwindigkeit gt dieses Falls endlich die gegebene, constante Geschwindigkeit c weit übertreffen mufs. Für denselben Fall giebt auch die Gleichung (E)

$$x = \frac{c^2}{g}.\text{Log.}\tfrac{1}{2}e^{\frac{gt}{c}} = \frac{c^2}{g}.(\text{Log.}\,e^{\frac{gt}{c}} + \text{Log.}\tfrac{1}{2}),$$

oder auch

$$x = \frac{c^2}{g}\left(\frac{gt}{c} - \text{Log.}\,2\right) = ct - \frac{c^2}{g}.\text{Log.}\,2,$$

das heifst

$$x = ct - 0{,}693147\,\frac{c^2}{g},$$

und auch diese Gleichung zeigt, dafs der Körper am Ende einer grofsen Zeit nach dem Anfang seines Falls in dem widerstehenden Mittel mit einer *gleichförmigen Bewegung* fortgeht.

Wie grofs ist aber diese constante Endgeschwindigkeit $v = c$, die der Körper am Ende einer beträchtlichen Zeit erreicht? Aus der Erfahrung ist bekannt, und es läfst sich auch leicht ohne eigentliche Experimente voraussehn, dafs diese Endgeschwindigkeit bei Körpern von derselben Gröfse und Gestalt desto gröfser seyn wird, je mehr Masse sie haben oder je dichter sie sind. In der That erhält man die accelerirende Kraft eines Körpers, wenn man die bewegende Kraft desselben durch seine Masse m dividirt, woraus folgt, dafs die accelerirende Kraft, wenn alles übrige gleich gesetzt wird, sich verkehrt wie diese Masse verhalten, oder dafs $f = \frac{1}{m}$ seyn müsse. Es war aber auch nach der Gleichung (C)

$$f = \frac{g\,v^2}{c^2},$$

woraus folgt, dafs die Gröfse c^2 der Masse m proportional seyn mufs, oder dafs man die Gleichung haben wird

$$c = A \cdot \sqrt{m},$$

wo A eine constante Gröfse bezeichnet. Die gesuchte constante Endgeschwindigkeit verhält sich also bei Körpern von derselben Gröfse und Gestalt, wenn sie sich in demselben widerstehenden Mittel bewegen, wie die Quadratwurzel ihrer Massen, oder da für dieselbe Geschwindigkeit die Masse der Dichte des Körpers proportional ist, wie die Quadratwurzel der Dichte dieser Körper, übereinstimmend mit dem Vorhergehenden.

Wir haben oben unmittelbar vor der Gleichung (C) gesehn, dafs $\frac{D r}{\lambda \varrho}$ gleich $\frac{c^2}{g}$ ist, oder dafs man hat

$$c = \sqrt{\frac{g D r}{\lambda \varrho}},$$

woraus folgt, dafs, wenn die Dichte ϱ des Mittels gegen die Dichte D des in ihm bewegten Körpers sehr klein ist, die Gröfse c zugleich sehr grofs wird. Da nun nach dem Vorhergehenden die Geschwindigkeit v des fallenden Körpers erst dann nahe constant wird, wenn $e^{-\frac{g t}{c}}$ sehr klein, oder wenn $\frac{g t}{c}$ sehr grofs, das heifst, wenn t gegen c sehr grofs ist, so folgt, dafs die Zeit, in welcher die constante Endgeschwindigkeit eintritt, desto gröfser seyn mufs, je gröfser c ist, oder mit andern Worten, je kleiner die Dichte ϱ des Mittels gegen die Dichte D des Körpers seyn wird. Setzen wir der Kürze wegen die Gröfse $\frac{g t}{c}$ gleich α, so dafs man also hat

$$\alpha = \frac{g t}{c} = t \cdot \sqrt{\frac{g \lambda \varrho}{D r}}.$$

Dieses vorausgesetzt erhält man

$$\tfrac{1}{2}(e^{\alpha} - e^{-\alpha}) = \alpha + \frac{\alpha^3}{6} + \ldots,$$

$$\tfrac{1}{2}(e^{\alpha} + e^{-\alpha}) = 1 + \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^4}{24} + \ldots$$

Ferner ist allgemein

$$\text{Log. nat. } (1+\Theta) = \Theta - \frac{\Theta^2}{2} + \frac{\Theta^3}{3} - \ldots,$$

also auch, wenn man

$$\Theta = \tfrac{1}{2}(e^{\alpha} + e^{-\alpha}) = 1 + \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^4}{24} + \ldots \text{ setzt,}$$

$$\text{Log. } \tfrac{1}{2}(e^{\alpha} + e^{-\alpha}) = \frac{\alpha^2}{2} - \frac{\alpha^4}{12} + \frac{\alpha^6}{45} - \ldots$$

Substituirt man diese Ausdrücke in den obigen Gleichungen (D) und (E), das heifst, in den Gleichungen

$$v = c \cdot \frac{e^{\alpha} - e^{-\alpha}}{e^{\alpha} + e^{-\alpha}} \text{ und } x = \frac{c^2}{g} . \text{Log.} \frac{e^{\alpha} + e^{-\alpha}}{2},$$

so erhält man

$$\frac{v}{c} = \alpha - \tfrac{1}{3}\alpha^3 + \ldots$$

und

$$\frac{x}{c} = \tfrac{1}{2}\alpha t - \frac{\alpha^3 t}{12} + \ldots$$

oder, wenn man den Werth von $\alpha = \frac{g t}{c}$ wieder herstellt,

$$v = g t - \frac{g^3 t^3}{3 c^2} + \ldots,$$

$$x = \tfrac{1}{2} g t^2 - \frac{g^3 t^4}{12 c^2} + \ldots,$$

und diese zwei Gleichungen wird man statt der vorhergehenden (D) und (E) gebrauchen, so lange t nur noch eine kleine Gröfse ist, und sie werden für dieselbe Zeit t desto genauer seyn, je gröfser c, das heifst, je kleiner die Dichte ϱ des Mittels gegen die Dichte D des in ihm bewegten Körpers ist. Ist endlich diese Dichte ϱ des Mittels unendlich klein, so wird man in den beiden letzten Gleichungen die durch c^2 dividirten Glieder auch für eine sehr grofse Zeit ganz weglassen können und dadurch erhalten

$$v = g t \text{ und } x = \tfrac{1}{2} g t^2,$$

welches die bekannten Gleichungen für die Bewegung eines im *freien Raume* fallenden Körpers sind[1].

---

1 Vergl. Art. *Fall der Körper*. B. IV. S. 6.

Betrachten wir nun auf gleiche Weise die Bewegung eines festen Körpers, der in einem widerstehenden Mittel senkrecht aufwärts geworfen wird. Wir wollen auch hier für den Körper eine Kugel vom Halbmesser r annehmen, so daſs man, wie zuvor, hat:

$$c^2 = \frac{gDr}{\lambda \varrho},$$

wo die in dieser Gleichung vorkommenden Buchstaben wieder die vorige Bedeutung haben. Da hier die beschleunigende Kraft gleich $-g - \frac{gv^2}{c^2}$ ist, so hat man die Fundamentalgleichung

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -g - \frac{gv^2}{c^2}$$

oder

$$\frac{g\partial t}{c} = -\frac{c\partial v}{c^2 + v^2}.$$

Das Integral dieser Gleichung ist, wenn a die anfängliche Geschwindigkeit bezeichnet, mit welcher der Körper senkrecht aufwärts geworfen wird,

$$\text{Arc. Tang.}\ \frac{v}{c} = \text{Arc. Tang.}\ \frac{a}{c} - \frac{gt}{c}.$$

Es ist aber allgemein

$$\text{Arc. tang.}\ \alpha - \text{Arc. Tang.}\ \beta = \text{Arc. Tang.}\ \frac{\alpha - \beta}{1 + \alpha\beta}.$$

Setzt man daher

$$\alpha = \frac{a}{c} \text{ und } \frac{gt}{c} = \text{Arc. Tang.}\ \beta,$$

so erhält man

$$\text{Arc. Tang.}\ \frac{v}{c} = \text{Arc. Tang.}\ \alpha - \text{Arc. Tg.}\ \beta = \text{Arc. Tg.}\ \frac{\alpha - \beta}{1 + \alpha\beta},$$

und daher auch

$$\frac{v}{c} = \frac{\alpha - \beta}{1 + \alpha\beta} = \frac{\frac{a}{c} - \text{Tang.}\ \frac{gt}{c}}{1 + \frac{a}{c}\text{Tang.}\ \frac{gt}{c}},$$

oder endlich

$$\frac{v}{c} = \frac{a \operatorname{Cos.} \frac{gt}{c} - c \operatorname{Sin.} \frac{gt}{c}}{a \operatorname{Sin.} \frac{gt}{c} + c \operatorname{Cos.} \frac{gt}{c}} \quad \ldots \quad (G)$$

und diese Gleichung giebt die Geschwindigkeit v des Körpers für jede Zeit t.

Da ferner $\partial x = v \partial t$ ist,. so erhält man, wenn man in dem letzten Ausdruck den erhaltenen Werth von v substituirt,

$$\partial x = \frac{a \operatorname{Cos.} \frac{gt}{c} - c \operatorname{Sin.} \frac{gt}{c}}{a \operatorname{Sin.} \frac{gt}{c} + c \operatorname{Cos.} \frac{gt}{c}} . c \partial t$$

und davon ist das Integral, wenn x mit t zugleich verschwindet,

$$x = \frac{c^2}{g} \operatorname{Log.} \left(\frac{a}{c} \operatorname{Sin.} \frac{gt}{c} + \operatorname{Cos.} \frac{gt}{c} \right) \quad \ldots \quad (H);$$

Diese Gleichung giebt den zurückgelegten Weg des Körpers für jede Zeit t.

Um endlich auch hier die Abhängigkeit der beiden Gröfsen x und v von einander zu finden, so hat man, wenn man die obige erste Gleichung

$$\partial t = - \frac{c^2 \partial v}{g(c^2 + v^2)}$$

in der allgemeinen Gleichung $\partial x = v \partial t$ substituirt,

$$g \partial x = - \frac{c^2 v \partial v}{c^2 + v^2},$$

wovon das Integral ist

$$x = \frac{c^2}{2g} . \operatorname{Log.} \frac{a^2 + c^2}{c^2 + v^2} \quad \ldots \quad (I)$$

und die Gleichungen (G), (H) und (I) geben die vollständige Auflösung des Problems.

Um zu sehn, ob auch diese drei Gleichungen für ein sehr grofses c, das heifst, für eine sehr geringe Dichtigkeit ϱ des widerstehenden Mittels die bekannten Ausdrücke für die Bewegung eines im *freien Raume* senkrecht aufwärts geworfenen

Körpers wieder geben, sey $c = \frac{1}{\alpha}$, wodurch die Gleichung (G) in folgende übergeht:

$$v = \frac{a\alpha \operatorname{Cos.} \alpha g t - \operatorname{Sin.} \alpha g t}{a\alpha^2 \operatorname{Sin.} \alpha g t + \alpha \operatorname{Cos.} \alpha g t}.$$

Das Differential des Zählers ist, wenn man nach der Differentiation $\alpha = 0$ gesetzt hat, gleich $a - gt$, und auf gleiche Weise giebt auch das Differential des Nenners, wenn man $\alpha = 0$ setzt, zu seinem Werthe die Einheit, so daſs man daher für $\alpha = 0$ oder für $c = \infty$ statt der Gleichung (G) die folgende einfachere erhält:

$$v = a - gt \ldots \quad (G').$$

Ebenso giebt die Gleichung (I), wenn man wieder $c = \frac{1}{\alpha}$ setzt,

$$x = \frac{1}{2g\alpha^2} \left\{ \operatorname{Log.} (1 + \alpha^2 a^2) - \operatorname{Log.} (1 + \alpha^2 v^2) \right\}.$$

Von dem Zähler dieses Bruchs ist das erste Differential

$$\left(\frac{2\alpha a^2}{1 + \alpha^2 a^2} - \frac{2\alpha v^2}{1 + \alpha^2 v^2} \right) \partial \alpha$$

und ebenso von dem Nenner

$$4 g \alpha . \partial \alpha .$$

Da beider Gröſsen Quotient für $\alpha = 0$ wieder den unbestimmten Ausdruck

$$\frac{0 - 0}{0}$$

giebt, so wird man diese Gröſsen noch einmal differentiiren, wodurch man das zweite Differential des Zählers für $\alpha = 0$ gleich $2a^2 - 2v^2$ und ebenso das zweite Differential des Nenners gleich $4g$ erhält, so daſs demnach der wahre Werth von x für den besondern Fall $\alpha = 0$ aus der Gleichung (I) folgender seyn wird:

$$x = \frac{a^2 - v^2}{2g} \ldots \quad (I').$$

Substituirt man in der letzten Gleichung statt v den bereits gefundenen Werth $v = a - gt$, so erhält man

$$x = at - \tfrac{1}{2} g t^2 \ldots \quad (H')$$

als die Transformation der obigen Gleichung (H) für den besondern Fall $\alpha = 0$ oder $c = \infty$ oder endlich $\rho = 0$, und diese

drei Gleichungen stimmen mit denjenigen überein, die man für senkrecht aufwärts geworfene Körper im *freien Raume* findet[1].

Noch ist bei diesem zweiten Probleme die gröfste Höhe zu bestimmen, die der Körper im widerstehenden Mittel erreichen kann. Diese gröfste Höhe, die wir durch h bezeichnen wollen, hat offenbar dann statt, wenn die Geschwindigkeit v des Körpers gleich Null ist. Für $v = 0$ giebt aber die Gleichung (I)

$$h = \frac{c^2}{2g} \text{Log.} \frac{a^2 + c^2}{c^2},$$

und dieses ist der Ausdruck für die gesuchte gröfste Höhe, zu der sich der Körper erheben kann. Nennt man t' die Zeit, die der Körper verwendet, um zu dieser Höhe h zu gelangen, so hat man, wenn in der Gleichung (G) die Gröfse $v = 0$ und $t = t'$ gesetzt wird,

$$t' = \frac{c}{g} \text{ Arc. Tang. } \frac{a}{c} .$$

Wenn der Körper diese Höhe erreicht hat, so wird er wieder auf demselben Wege, auf welchem er gestiegen ist, niederfallen, und diese seine niedergehende Bewegung wird, wie in dem ersten Problem, durch die drei Gleichungen (D), (E) und (F) bestimmt werden. Nennt man a' die Geschwindigkeit am Ende seines Falls von der ganzen Höhe h, so wird man vermöge der Gleichung (F) haben

$$h = \frac{c^2}{2g} \text{Log.} \frac{c^2}{c^2 - a'^2}.$$

Setzt man diese beiden Werthe von h einander gleich, so erhält man

$$\frac{c^2}{c^2 - a'^2} = \frac{a^2 + c^2}{c^2}$$

und daher auch

$$a'^2 = \frac{a^2 . c^2}{a^2 + c^2},$$

woraus folgt, dafs a' kleiner als a ist, oder dafs der Körper, wenn er von seiner gröfsten Höhe wieder zu seinem ersten Ausgangspuncte zurückgefallen ist, eine kleinere Geschwindig-

---

1 Vergl. Art. *Fall der Körper*. Bd. IV. S. 8.

keit hat, als er das erste Mal, im Anfange seiner Bewegung, in diesem Puncte hatte.

Nennt man ebenso t'' die Zeit seines Falls durch die ganze Höhe h, so hat man, wenn man in der obigen Gleichung (1), nämlich in

$$gt = \frac{1}{2} c . \text{Log.} \frac{c + \nu}{c - \nu}$$

die Gröfse $\nu = a'$ setzt,

$$t'' = \frac{c}{2g} \text{Log.} \frac{c + a'}{c - a'},$$

oder endlich, wenn man für a' den so eben gefundenen Werth substituirt,

$$t'' = \frac{c}{2g} . \text{Log.} \frac{\sqrt{a^2 + c^2} + a}{\sqrt{a^2 + c^2} - a} = \frac{c}{g} \text{Log.} \frac{c}{\sqrt{a^2 + c^2} - a}.$$

Nennt man daher $T = t' + t''$ die Summe der zwei Zeiten des Aufsteigens und des Niedergehens des Körpers zu seinem ersten Ausgangspuncte, so hat man

$$\frac{g}{c} . T = \text{Arc. Tang.} \frac{a}{c} + \text{Log.} \frac{c}{\sqrt{a^2 + c^2} - a} \quad . \; . \; . \quad (K)$$

Diese Gleichung (K) wird ein gutes Mittel abgeben, die Gröfse c für einen der interessantesten Fälle, die hier vorkommen können, zu bestimmen. Wenn nämlich eine Kanone senkrecht aufgestellt wird, so wird man nur die Zeit des Austritts der Kugel aus der Mündung der Kanone und die Zeit ihres Zurückfalls auf den Boden bemerken dürfen, eine Beobachtung, die der gewaltigen Geschwindigkeit der Bewegung der Kugel ungeachtet doch mit grofser Genauigkeit wird gemacht werden können. Heifst T die Differenz dieser beiden Zeiten und kennt man überdiefs die anfängliche Geschwindigkeit a, so wird die letzte Gleichung auch den Werth von c kennen lehren. Es war aber

$$c^2 = \frac{g D r}{\lambda \varrho},$$

wo D die Dichte der Kugel vom Halbmesser r, ϱ die Dichte des widerstehenden Mittels, hier der Atmosphäre, und λ die constante Gröfse, die nach Borda gleich $\frac{9}{40}$ ist, bezeichnet. Nennt man c' den Werth von c für eine andere Kugel

aus derselben Materie, deren Halbmesser aber r' ist, so hat man

$$c'^2 = \frac{gDr'}{\lambda\varrho}$$

und daher

$$\frac{c'}{c} = \sqrt{\frac{r'}{r}},$$

so dafs man daher, wenn man den Werth von c für eine einzige Kugel kennen gelernt hat, auch sofort den für jede andere, aus derselben Masse verfertigte Kugel finden kann.

B. Pendelbewegungen in widerstehenden Mitteln.

Besonders wichtig ist die Lehre von dem Widerstande bei der Theorie der Pendelbewegung, da wir die Versuche mit diesen Instrumenten nicht anders, als in der Atmosphäre anstellen können.

Um das Folgende besser zu übersehn, stellen wir zuerst die bereits oben[1] für den leeren Raum erhaltenen Ausdrücke kurz zusammen. Ist C der Mittelpunct des Kreises ABA', dessen Halbmesser a ist, und läfst man einen der Schwere unterworfenen körperlichen Punct von dem Puncte A ausgehn, so wird er in der inneren Seite dieses Kreises, in dem Bogen ABA', und zwar, im freien Raume, so lange fortgehn, bis er, auf der andern Seite der Verticale CB einen Punct A' erreicht hat, der mit dem Ausgangspuncte A dieselbe Höhe über dem Horizonte hat. Von diesem Puncte A wird er wieder durch denselben Bogen A'BA in derselben Zeit bis zu dem ersten Punct A gehn, und diese Bewegung wird er ohne Ende fortsetzen.

Fig. 192.

Es sey BCA $= \alpha$ der anfängliche Winkel, welchen der Radius CA des Kreises mit dem verticalen Halbmesser CB bildet, und ebenso sey BCM $= \Theta$ der Winkel des beweglichen Radius CM mit derselben Verticale für jede andere Zeit t nach dem Anfange der Bewegung in A, wo diese Winkel Θ und α auf der Seite der Verticale bei A positiv und auf der an-

1 S. Art. *Pendel*. Bd. VII. S. 306.

dern Seite bei A′ negativ zu nehmen sind. Wenn nun der anfängliche Winkel $BCA = \alpha$, wie dieses bei Pendelbeobachtungen immer der Fall ist, nur klein angenommen wird, so hat man für die Bewegungen des Pendels im freien Raume, wenn $g = 30{,}1963$ Par. Fufs die Schwere und t die Zeit des Falls durch Bogen AM bezeichnet,

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial t^2} = -\frac{g}{a}\ \mathrm{Sin}.\Theta$$

und

$$\frac{\partial \Theta^2}{\partial t^2} = \frac{2g}{a}(\mathrm{Cos}.\Theta - \mathrm{Cos}.\alpha),$$

also auch, wenn α und Θ nur kleine Winkel sind,

$$t = \sqrt{\frac{a}{g}}.\ \mathrm{Arc.\ Cos.}\ \frac{\Theta}{\alpha}$$

und demnach

$$\Theta = \alpha\,\mathrm{Cos}.t.\sqrt{\frac{g}{a}}.$$

Die Winkelgeschwindigkeit des bewegten Punctes aber ist für die Zeit seiner Ankunft in M oder am Ende der Zeit t

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = -\alpha\sqrt{\frac{g}{\alpha}}.\ \mathrm{Sin.}\ t\sqrt{\frac{g}{a}},$$

also auch die wahre Geschwindigkeit desselben

$$v = \frac{a\,\partial\Theta}{\partial t} = -\alpha\sqrt{ag}.\mathrm{Sin.}\ t\sqrt{\frac{g}{a}},$$

so dafs demnach die wahre Geschwindigkeit des bewegten Körpers für den untersten Punct B seiner kreisförmigen Bahn, wo $t = \frac{1}{2}\pi\sqrt{\frac{a}{g}}$ ist, gleich $-\alpha\sqrt{ag}$ seyn wird, negativ, weil die Richtung dieser Geschwindigkeit von dem Puncte B nach A′ auf die rechte Seite der Verticale CB geht.

Man nennt den ganzen Bogen ABA′ einen *Schwung* oder eine *Oscillation*. Nach dem Vorhergehenden ist demnach die Zeit T eines ganzen Schwungs

$$T = \pi\sqrt{\frac{a}{g}},$$

wo π die bekannte Ludolph'sche Zahl bezeichnet.

Das Vorhergehende setzt voraus, dafs der Bogen AB des

halben Schwunges oder dafs der anfängliche Elevationswinkel α, also auch der Winkel Θ nur klein ist, für jeden andern Winkel von beliebiger Gröſse aber hat man die Zeit des ganzen Schwungs durch den Bogen ABA′ oder

$$T=\pi\sqrt{\frac{a}{g}}\cdot\left\{1+\left(\frac{1}{2}\right)^2\frac{\beta}{2}+\left(\frac{1.3}{2.4}\right)^2\left(\frac{\beta}{2}\right)^2+\left(\frac{1.3.5}{2.4.6}\right)^2\left(\frac{\beta}{2}\right)^3+\ldots\right\},$$

wo $\beta=1-\mathrm{Cos.}\,\alpha$ oder wo β der Sinus versus von α ist. Diese Reihe ist für alle Bogen α convergent, da die Gröſse β ihrer Natur nach immer kleiner als die Einheit ist.

Nach dieser kurzen Zusammenstellung der Ausdrücke für die Pendelbewegung im leeren Raume wenden wir uns nun zu dieser Bewegung im widerstehenden Mittel. Behält man alle vorhergehenden Bezeichnungen bei und setzt überdieſs den Bogen $AM=s$, so hat man, wenn die senkrechte mit CB parallele Linie $Ma=g$ die Schwere bezeichnet, für die nach der Tangente des Kreises in M zerlegte Schwere $Mb=g\,\mathrm{Sin.}\,\Theta$, da $BCM=\Theta$, also auch $aMb=90°-\Theta$ ist. Nennt man also f die accelerirende Kraft, die von dem Widerstande kommt, so hat man nach den ersten Vorschriften der Mechanik die Gleichung

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2}=g\,\mathrm{Sin.}\,\Theta-f\ \ldots\quad (L)$$

und es wird nun darauf ankommen, die Function f zu bestimmen und dann die Gleichung (L) zu integriren.

Nimmt man an, dafs der Widerstand sich wie die Geschwindigkeit verhalte, so hat man, wenn c irgend eine gegebene constante Geschwindigkeit bezeichnet,

$$f=\frac{g}{c}\cdot\frac{\partial s}{\partial t}.$$

Weiter ist im Kreise $s=a(\alpha-\Theta)$, also auch

$$\frac{\partial s}{\partial t}=-\frac{a\,\partial\Theta}{\partial t},$$

und wenn die Winkel α und Θ wieder nur klein genommen werden,

$$\mathrm{Sin.}\,\Theta=\Theta-\tfrac{1}{6}\Theta^3+\ldots,$$

so dafs demnach die Gleichung (L) in folgende übergeht:

$$\frac{\partial^2\Theta}{\partial t^2}+\frac{g}{c}\cdot\frac{\partial\Theta}{\partial t}+\frac{g}{a}.\Theta=0,$$

und davon ist das bekannte Integral

$$\Theta=\left\{C.\mathrm{Cos.}\,t\gamma\sqrt{\frac{g}{a}}+C'.\mathrm{Sin.}\,t\gamma\sqrt{\frac{g}{a}}\right\}.e^{-\frac{gt}{2c}},$$

wo C und C′ die zwei Constanten der Integration sind und wo

$$\gamma^2=1-\frac{ga}{4c^2}$$

ist. Diese Gröſsen C und C′ werden dadurch bestimmt, daſs $\Theta=\alpha$ für $\frac{\partial\Theta}{\partial t}=0$ im Anfange der Bewegung oder für $t=0$ ist, so daſs man hat

$$C=\alpha \text{ und } C'=\frac{\alpha\sqrt{ga}}{2\gamma c}.$$

Dadurch wird daher das obige Integral die Gestalt annehmen

$$\Theta=\alpha\left\{\mathrm{Cos.}\,t\gamma\sqrt{\frac{g}{a}}+\frac{\sqrt{ga}}{2\gamma k}.\mathrm{Sin.}\,t\gamma\sqrt{\frac{g}{a}}\right\}.e^{-\frac{gt}{2c}},$$

und davon ist das erste Differential

$$\frac{\partial\Theta}{\partial t}=-\frac{\alpha}{\gamma}\cdot\sqrt{\frac{g}{a}}.\mathrm{Sin.}\,t\gamma\sqrt{\frac{g}{a}}.e^{-\frac{gt}{2c}}$$

und die beiden letzten Gleichungen geben für jede Zeit t die Lage des Pendels durch den Winkel Θ und seine Geschwindigkeit $\frac{a\partial\Theta}{\partial t}$. Am Ende eines jeden ganzen Schwungs durch den Bogen AMA′ ist der Körper in A′, und da er hier, wenn er bis zu diesem Puncte gestiegen ist, wieder zu fallen anfängt, so ist für diesen Punct A′ die Geschwindigkeit $\frac{a\partial\Theta}{\partial t}$ gleich Null, also auch $\mathrm{Sin.}\,t\gamma\sqrt{\frac{g}{a}}$ gleich Null oder $t\gamma\sqrt{\frac{g}{a}}$ gleich $n\pi$, wo n gleich 1, 2, 3.. ist. Die Schwingungen des Pendels im widerstehenden Mittel sind daher auch isochron, wie im leeren Raume, und da am Ende des ersten Schwungs

$$t\gamma\sqrt{\frac{g}{a}}=\pi \text{ und } t=T \text{ ist,}$$

so hat man auch für die Zeit T eines Schwungs

$$T = \frac{\pi}{\gamma}\sqrt{\frac{a}{g}}$$

(während im leeren Raume $T = \pi \sqrt{\frac{a}{g}}$ war).

Nicht so ist es mit den Amplitüden oder mit der gröſsten Ausweichung α des Pendels, die im leeren Raume immer dieselbe bleibt, im widerstehenden Mittel aber immer kleiner wird. Am Ende des ersten Schwungs ist nämlich $t\gamma\sqrt{\frac{g}{a}} = \pi$, und daher die obige Gleichung für Θ

$$\Theta = \alpha \, . \, e^{-\frac{gt}{2c}},$$

oder, wenn man darin den Werth von $t = \frac{\pi}{\gamma}\sqrt{\frac{a}{g}}$ substituirt,

$$\Theta \text{ oder } \alpha' = \alpha \, . \, e^{-\frac{\pi\sqrt{ag}}{2\gamma c}}.$$

Am Ende des zweiten Schwungs ist $t\gamma\sqrt{\frac{g}{a}} = 2\pi$, also auch jene Gleichung

$$\Theta \text{ oder } \alpha'' = \alpha \, . \, e^{-\frac{gt}{2c}} = \alpha \, . \, e^{-\frac{2\pi\sqrt{ag}}{2\gamma c}},$$

und ebenso erhält man für die Amplitüde des dritten Schwungs

$$\alpha''' = \alpha \, . \, e^{-\frac{3\pi\sqrt{ag}}{2\gamma c}}$$

und überhaupt für die Amplitüde des nten Schwungs

$$\alpha^{n} = \alpha \, . \, e^{-\frac{n\pi\sqrt{ga}}{2\gamma c}},$$

so daſs also diese auf einander folgenden Amplitüden eine geometrische Progression bilden, deren Verhältniſszahl ist

$$e^{-\frac{\pi\sqrt{ga}}{2\gamma c}}.$$

Bemerken wir noch, daſs die Differentialgleichung der zweiten Ordnung

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial t^2} + A \, . \, \frac{\partial \Theta}{\partial t} + B \, . \, \Theta = 0$$

je nach den Werthen der zwei constanten Gröſsen A und B verschiedene Integrale giebt. Sind nämlich m und n die

Wurzeln der quadratischen Gleichung $u^2 + Au + B = 0$, so hat man, wenn diese Wurzeln reell sind, für das gesuchte Integral

$$\Theta = C.e^{mt} + C'.e^{nt},$$

wo e, wie zuvor, die Basis der natürlichen Logarithmen bezeichnet. Sind aber diese zwei Wurzeln imaginär und von der Form $m' \pm n' \sqrt{-1}$, so ist das Integral

$$\Theta = e^{m't}.(C \operatorname{Cos}. n't + C'. \operatorname{Sin}. n't).$$

Sind endlich jene beiden Wurzeln unter sich gleich, so hat man[1]

$$\Theta = e^{mt}.(C + C'.t).$$

Wir haben im Obigen den zweiten dieser drei Fälle gewählt, weil für die gegebene Gleichung

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial t^2} + \frac{g}{c} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial t} + \frac{g}{a} . \Theta = 0,$$

wenn $A = \frac{g}{c}$ und $B = \frac{g}{a}$ gesetzt wird, die beiden Wurzeln der Gleichung

$$U^2 + Au + B = 0$$

durch folgende Ausdrücke gegeben werden:

$$u = \frac{-\alpha g \pm \sqrt{a^2 g^2 - 4 a g c^2}}{2ac}$$

oder

$$u = \frac{-ag \pm \sqrt{-4agc^2 \gamma^2}}{2ac},$$

so dafs also beide Wurzeln imaginär sind, da a und g ihrer Natur nach, so wie die Quadrate c^2 und γ^2, immer positive Gröfsen seyn müssen; die Gröfse γ aber oder

$$\gamma = \frac{1}{2c} \sqrt{4c^2 - ag}$$

ist eine reelle Gröfse, da für den Fall in der Natur c^2 immer viel gröfser als $\frac{1}{4} ag$ seyn wird. Denn die Pendel, mit welchen wir Versuche anzustellen pflegen, haben immer nur eine sehr mäfsige Länge, also ist a nur klein. Was aber die Gröfse c betrifft, so hat man, wie bereits oben gezeigt worden

1 S. Littrow's Anleit. z. höhern Mathem. Wien 1836. S. 414.

ist, $c^2 = \frac{gDr}{\lambda\varrho}$, wo D die Dichte der kleinen Kugel vom Halbmesser r, die an den Faden des Pendels befestigt wird, und wo ϱ die Dichte des widerstehenden Mittels bezeichnet, wo also D viel gröſser als ϱ und daher c eine sehr groſse Zahl seyn wird. Man sieht auch schon ohne weitere Rechnung, daſs diese Gröſse γ eine von der Einheit nur sehr wenig verschiedene Zahl seyn kann. Die Zeit des Schwunges ist nämlich

für den leeren Raum $T = \pi\sqrt{\frac{a}{g}}$

und

für ein widerstehendes Mittel $T' = \frac{\pi}{\gamma}\sqrt{\frac{a}{g}}$,

und da das widerstehende Mittel diese Zeit T nothwendig vergröſsern, aber auch, wenn die Dichte desselben, wie bei der Luft, nur sehr gering ist, nur sehr wenig vergröſsern kann, so muſs γ eine Zahl seyn, die nur wenig kleiner, als die Einheit ist.

Alles Vorhergehende ist auf die Annahme gegründet, daſs der Widerstand, den das Pendel während seiner Bewegung erfährt, der Geschwindigkeit desselben proportional sey. In der That zeigen auch die Beobachtungen, daſs die Amplitüden der Schwingungsbogen (wenigstens wenn dieselben nur klein sind, wie dieses bei allen unsern Pendelbeobachtungen der Fall ist), sehr nahe in einer geometrischen Progression abnehmen, wie wir dieses oben auch durch die Rechnung gefunden haben. Die schönen und sorgfältigen Beobachtungen, die der Chevalier Borda in Paris angestellt hat, zeigten z. B., daſs die Amplitüde seiner Schwingungen deutlich dem Gesetze einer solchen Progression folgte, und daſs erst nach 1800 Schwingungen die Amplitüde des Bogens auf zwei Drittheile ihre anfänglichen Gröſse reducirt worden ist. Dieses giebt mit Hülfe des oben gegebenen Ausdrucks

$$e^{-\frac{1800\pi\sqrt{ga}}{2\gamma c}} = \tfrac{2}{3},$$

woraus folgt

$$\frac{1800\pi\sqrt{ga}}{2c} = \gamma \operatorname{Log.} \tfrac{3}{2} = \gamma \cdot 0{,}40546.$$

Da aber

$$\frac{\sqrt{ga}}{2c} = \sqrt{1-\gamma^2}$$

ist, so ist auch

$$1800\pi\sqrt{1-\gamma^2} = 0{,}40546\gamma,$$

und daraus folgt

$$\gamma = 1{,}0000000026,$$

also auch ohne allen merklichen Fehler $\gamma = 1$, so dafs man also bei der Berechnung von T die Rücksicht auf den Widerstand der Luft, in diesen Beobachtungen wenigstens, gänzlich weglassen darf. Allein alles dieses gilt nur für sehr kleine Schwingungsbogen; für gröfsere Amplitüden zeigen die Beobachtungen keineswegs eine Abnahme derselben nach dem Gesetze einer geometrischen Progression, so dafs auch wohl unsere obige Voraussetzung, dafs der Widerstand der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional sey, nicht als sehr wahrscheinlich angenommen werden kann.

Sehn wir also noch, wie sich die Beobachtung der Pendelbewegung im widerstehenden Mittel mit der andern, bereits oben aufgestellten Hypothese vertrage, nach welcher der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist. Auf diese Hypothese ist man übrigens, ohne eigentliche Beobachtungen, die man erst später damit zu vereinigen gesucht hat, durch folgenden einfachen Schlufs geführt worden. Der Verlust, den die Bewegung eines festen Körpers in einem flüssigen Medium erleidet, mufs sich offenbar verhalten, wie die Masse der Flüssigkeit, die durch den festen Körper verdrängt werden soll, und wie die Geschwindigkeit, mit welcher sie verdrängt wird. Allein die Masse der verdrängten Flüssigkeit ist selbst der Geschwindigkeit des festen Körpers proportionirt, also mufs auch der Widerstand der Flüssigkeit dem Quadrat der Geschwindigkeit des in ihr bewegten Körpers proportionirt seyn.

Sey also die accelerirende Kraft f des Widerstandes

$$f = \frac{g}{c^2} \cdot \left(\frac{\partial s}{\partial t}\right)^2,$$

wo wieder die gegebene Geschwindigkeit c eine sehr grofse Zahl und daher

$$f = \frac{2\alpha g}{c^2}$$

einen gegen die Einheit sehr kleinen Bruch bezeichnet, so daſs man hat

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = g \mathrm{Sin.}\Theta - \frac{g}{c^2} \cdot \frac{\partial s^2}{\partial t^2},$$

oder da, wie zuvor, $\partial s = - a \partial \Theta$ ist,

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial t^2} + \frac{g}{a} \mathrm{Sin.}\, \Theta = \tfrac{1}{2} b . \frac{\partial \Theta^2}{\partial t^2} \quad . \; . \; . \quad (M)$$

Diese letzte Gleichung soll nun zweimal integrirt werden, um die Geschwindigkeit $\frac{a \partial \Theta}{\partial t}$ sowohl, als auch die Lage Θ des Pendels für jede gegebene Zeit t zu finden.

Ohne uns bei den Kunstgriffen, diese Gleichung zu integriren, weiter aufzuhalten, da sie der Leser aus der zweiten Ausgabe von Poisson's Mécanique Vol. I. S. 353 kennen lernen kann, begnügen wir uns, als Endresultat dieser Rechnung zu bemerken, daſs unter der Voraussetzung, daſs der Winkel Θ, also auch sein anfänglicher Werth α nur klein ist, folgende Ausdrücke statt haben. Man erhält nämlich für das erste Integral der vorhergehenden Gleichung

$$\frac{a^2 \partial \Theta^2}{\partial t^2} = \frac{2ag}{1+b^2}\left[\mathrm{Cos.}\,\Theta + b\,\mathrm{Sin.}\Theta - (\mathrm{Cos.}\,\alpha + b\,\mathrm{Sin.}\,\alpha).e^{-b(\alpha-\Theta)}\right]$$

und dieser Ausdruck giebt die Geschwindigkeit $\frac{a \partial \Theta}{\partial t}$ für jeden Werth des Winkels Θ. Für den tiefsten Punct des Pendels hat man $\Theta = 0$, also auch

$$\frac{a^2 \partial \Theta^2}{\partial t^2} = \frac{2ag}{1+b^2}\left[1 - (\mathrm{Cos.}\,\alpha + b\,\mathrm{Sin.}\,\alpha).e^{-\alpha b}\right] \quad . \; . \; . \quad (N)$$

Für den leeren Raum aber haben wir oben für das Quadrat der Geschwindigkeit in dem tiefsten Puncte erhalten

$$\frac{a \partial \Theta}{\partial t} = - \alpha \sqrt{ag},$$

oder, da α nur klein, also auch sehr nahe $\alpha^2 = 2(1 - \mathrm{Cos.}\,\alpha)$ ist,

$$\frac{a^2 \partial \Theta^2}{\partial t^2} = 2ag(1 - \mathrm{Cos.}\,\alpha),$$

so daſs demnach diese Geschwindigkeit in dem tiefsten Puncte im widerstehenden Mittel offenbar *kleiner* ist, als im leeren

Raume. Der Körper wird also auch im widerstehenden Mittel auf der andern Seite der Verticale CB nicht wieder bis zu derselben Höhe A' steigen können, die er im Anfange seiner Bewegung hatte, wie dieses wohl im leeren Raume der Fall ist. Nennt man α_1 den Bogen BA', in welchem er seine aufsteigende Bewegung oder in welcher er den zweiten Theil seiner ersten Oscillation vollendet, so findet man

$$\alpha_1 = \alpha - \frac{2b}{\text{Sin.}\,\alpha}(\text{Sin.}\,\alpha - \alpha\,\text{Cos.}\,\alpha),$$

oder wenn die beiden Bogen α und α_1 nur klein sind,

$$\alpha_1 = \alpha - \frac{2b\alpha^2}{3}.$$

Wenn so der Körper bis zu dem höchsten Puncte A_1 gekommen ist, so wird er wieder zu fallen anfangen, und so nach und nach seine Oscillationen um die Verticale CA in immer kleineren Bogen so lange fortsetzen, bis diese Bogen endlich sehr klein oder nahe gleich Null seyn werden. Ist α_2 der zweite Theil der zweiten Oscillation, oder bezeichnet α_2 den Bogen, in welchem der Körper sich bewegt, wenn er das erste Mal wieder von B gegen den Anfangspunct A aufsteigt, so findet man ebenso

$$\alpha_2 = \alpha_1 - \frac{2b\alpha_1^2}{3},$$

und wenn α_3 und α_4 die nächstfolgenden aufsteigenden Halbschwingungen bezeichnen, so ist

$$\alpha_3 = \alpha_2 - \frac{2b\alpha_2^2}{3},$$

$$\alpha_4 = \alpha_3 - \frac{2b\alpha_3^2}{3} \text{ u. s. w.}$$

und diese Werthe von α, α_1, α_2, α_3 .... zeigen, dafs die Schwingungsbogen nicht mehr in einer geometrischen Progression abnehmen, wie bei der vorhergehenden Hypothese, wo der Widerstand der ersten Potenz der Geschwindigkeit proportional genommen wurde.

Um nun noch die Zeit t zu bestimmen, in welcher der Winkel Θ zurückgelegt wird, so findet man aus der Gleichung (N) durch Integration, wenn wieder der Winkel α nur klein genommen wird,

$$\Theta = \left(\alpha - \frac{\alpha^2 b}{3}\right) \text{Cos.} t \sqrt{\frac{g}{a}} + \frac{\alpha^2 b}{4} + \frac{\alpha^2 b}{12} \text{Cos.} 2t \sqrt{\frac{g}{a}} \ldots \quad (O)$$

und dieser Ausdruck giebt auch sofort eine bequeme Gleichung, durch welche man die Geschwindigkeit v ebenfalls durch die Zeit t ausdrücken kann. Differentiirt man nämlich die Gleichung (O), und bemerkt man, dafs $v = \frac{a \partial \Theta}{\partial t}$ ist, so erhält man

$$v = \left(\alpha - \frac{\alpha^2 b}{3}\right) \sqrt{ga} \,.\, \text{Sin.} t \sqrt{\frac{g}{a}} + \frac{\alpha^2 b \sqrt{ga}}{6} \text{Sin.} 2t \sqrt{\frac{g}{a}} \ldots \quad (P)$$

für den gesuchten Ausdruck. Setzt man in ihm v gleich Null, so erhält man

$$0 = \left(1 - \frac{\alpha b}{3} + \frac{\alpha b}{3} \text{Cos.} t \sqrt{\frac{g}{a}}\right) \,.\, \text{Sin.} t \sqrt{\frac{g}{a}}.$$

Da nun der Winkel α immer nur sehr klein ist, so kann der erste Factor dieser Gleichung nie gleich Null werden; der zweite Factor aber wird gleich Null jedesmal, wenn der Werth von $t\sqrt{\frac{g}{a}}$ gleich π, oder 2π, oder 3π u. s. w. wird. Daraus folgt, dafs der Zeitraum, der zwischen je zwei nächsten verschwindenden Geschwindigkeiten enthalten ist, oder dafs die Zeit T eines ganzen Schwungs des Pendels

$$T = \pi \sqrt{\frac{a}{g}}$$

ist, also ganz dieselbe, wie im leeren Raume.

Suchen wir noch die Zeit τ, die das Pendel braucht, um von seinem Anfangspuncte A bis zu seinem tiefsten Punct B zu gelangen. Zu diesem Zwecke wird man nur in der vorhergehenden Gleichung (O) die Gröfse $\Theta = 0$ setzen, wodurch man erhält

$$0 = \left(1 - \frac{\alpha b}{3}\right) \text{Cos.} \tau \sqrt{\frac{g}{a}} + \frac{\alpha b}{4} + \frac{\alpha b}{12} \text{Cos.} 2\tau \sqrt{\frac{g}{a}}.$$

Da der kleinste Werth von $\tau\sqrt{\frac{g}{a}}$ nur sehr wenig von $\frac{1}{2}\pi$ verschieden seyn kann, so wird man

$$\tau \sqrt{\frac{g}{a}} = \frac{1}{2}\pi + \varepsilon$$

setzen, wo ε eine sehr kleine Gröfse bezeichnet, von welcher

man das Quadrat und das Product $\alpha\,\varepsilon$ vernachlässigen kann. Damit giebt die vorige Gleichung

$$0 = -\left(1 - \frac{\alpha\,b}{3}\right) \text{Sin.}\,\varepsilon + \frac{\alpha\,b}{4} - \frac{\alpha\,b}{12}\,\text{Cos.}\,\varepsilon,$$

oder

$$0 = -\left(1 - \frac{\alpha\,b}{3}\right)\varepsilon + \frac{\alpha\,b}{4} - \frac{\alpha\,b}{12},$$

oder endlich

$$\varepsilon = \frac{\alpha\,b}{6}.$$

Wird dieser Werth von ε in der vorigen Gleichung

$$\tau\sqrt{\frac{g}{a}} = \tfrac{1}{2}\pi + \tfrac{1}{2}\varepsilon$$

substituirt, so erhält man

$$\tau = \tfrac{1}{2}\pi\sqrt{\frac{a}{g}}\cdot\left(1 + \frac{\alpha\,b}{3\,\pi}\right)$$

für die Zeit der ersten Hälfte des ersten ganzen Schwungs. Die Zeit T aber dieses ganzen Schwungs selbst wurde zuvor

$$T = \pi\sqrt{\frac{a}{g}}$$

gefunden, also ist auch

$$\frac{\tau}{T} = 1 + \frac{\alpha\,b}{3\pi}.$$

In dieser Voraussetzung, daſs der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist, wird also die erste absteigende Halboscillation in dem Verhältniſs von $1 + \frac{\alpha\,b}{3\pi}$ zur Einheit vermehrt, und da die ganze Oscillation dieselbe, wie im freien Raume bleibt, so folgt, daſs die aufsteigende Halboscillation durch den Widerstand in demselben Verhältniſs vermindert werden muſs.

Substituirt man diesen Werth von τ in der Gleichung (P) und vernachlässigt man die dritten und höhern Potenzen von α, so erhält man

$$v = \alpha\left(1 - \frac{\alpha\,b}{3}\right)\cdot\sqrt{g\,a},$$

während wir oben für den leeren Raum $v = \alpha\sqrt{g\,a}$ erhalten

haben, so daſs daher die Geschwindigkeit in dem untersten Puncte B durch den Widerstand in dem Verhältniſs von $1 - \frac{\alpha b}{3}$ zur Einheit vermindert wird.

Alle diese Resultate sind, wie man sieht, unabhängig von der Gröſse f des Coefficienten des Widerstandes, und sie setzen bloſs den Winkel α klein voraus. Sie werden daher ebenso gut für Pendel gehören, die sich in der Luft oder die sich in irgend einer Flüssigkeit bewegen, wenn man nur diese Gröſse b für jedes dieser Mittel gehörig bestimmt. Es ist auch offenbar unnöthig, noch andere Hypothesen zu untersuchen, wo der Widerstand der dritten oder vierten oder einer noch höheren Potenz der Geschwindigkeit proportional ist, weil man, wenn α, wie bisher, nur sehr klein angenommen wird, in den zu suchenden Werthen von ν und Θ doch nur wieder die vorigen Ausdrücke finden würde, so lange man die dritten und höhern Potenzen von α vernachlässigt, wie man dieses doch bei allen Versuchen mit Pendeln aus bekannten Gründen zu thun gezwungen ist.

Beschlieſsen wir diesen Gegenstand durch eine Bemerkung, die man bisher bei den Pendelbeobachtungen, so viele Sorgfalt man auch auf sie zu verwenden suchte, gänzlich vernachlässigt hat, und auf die zuerst Bessel, der berühmte Astronom in Königsberg, aufmerksam gemacht hat. Bekanntlich wird das Gewicht der festen Körper, wenn sie in eine Flüssigkeit eingetaucht werden, um das Gewicht eines gleich groſsen Volumens dieser Flüssigkeit vermindert. Ist nämlich P das Gewicht eines Körpers im leeren Raume, P' in der Luft oder im Wasser, und Π endlich das Gewicht eines gleich groſsen Volumens von Luft oder Wasser, so hat man

$$P' = P - \Pi.$$

Bezeichnet aber ϱ das Verhältniſs der Dichte der Luft zu der des festen Körpers, g die Schwere im leeren Raume und g' in der Luft, so hat man, wenn m die Masse des festen Körpers ist,

$$\Pi = P\varrho;\ P = mg \text{ und } P' = mg',$$

also ist auch die vorige Gleichung

$$g' = g(1 - \varrho).$$

Bezeichnet man aber durch T und T' die Schwingungszeiten

desselben Pendels für die Schwere g und g', so hat man, wenn diese Schwingungen in kleinen Bogen vor sich gehn,

$$T = \pi \sqrt{\frac{a}{g}} \text{ und } T' = \pi \sqrt{\frac{a}{g'}},$$

also auch

$$T' = \frac{T}{\sqrt{1-\varrho}} \ldots \quad (m)$$

Es bezeichne nun a' die Länge eines Pendels, das unter dem Einfluſs der Schwere g' seine Schwingungen in derselben Zeit macht, wie das Pendel der Länge a unter der Schwere g, so hat man

$$\sqrt{\frac{a}{g}} = \sqrt{\frac{a'}{g'}}$$

und daraus folgt

$$a' = a(1-\varrho) \ldots \quad (n).$$

Also aus der bloſsen Betrachtung, daſs die festen Körper, wenn sie in flüssige getaucht werden, *selbst im Zustande der Ruhe* an ihrem Gewichte verlieren, folgt schon, daſs die Schwingungszeiten solcher Körper nach der Gleichung (m) durch den Widerstand der Flüssigkeit in dem Verhältniſs von $\sqrt{1-\varrho}$ zur Einheit *vergröſsert* und daſs nach der Gleichung (n) die Längen der Pendel von denselben Schwingungszeiten in dem Verhältniſs von $1-\varrho$ zur Einheit verkleinert werden.

Allein dieser Gewichtsverlust der festen Körper in den flüssigen, und darin besteht vorzüglich die erwähnte Bemerkung Bessel's, ist ein anderer, wenn der Körper in dieser Flüssigkeit in Ruhe ist und wenn er in ihr eine schwingende Bewegung hat. Im Zustande der Bewegung ist jener Verlust gröſser, als in der Ruhe, und man muſs daher bei dem vorhergehenden Ausdrucke die Gröſse ϱ durch eine Gröſse μ multipliciren, die etwas gröſser als die Einheit ist und die von der Form des bewegten Körpers abhängt. Für solche Pendel, die aus einer kleinen, an einem sehr feinen Faden befestigten Kugel bestehn, wurde μ nahe gleich $\frac{3}{2}$ gefunden, so daſs die Gleichungen (m) und (n) in folgende übergehn:

$$T' = \frac{T}{\sqrt{1-\frac{3}{2}\varrho}} = T.(1+\tfrac{3}{4}\varrho) \text{ und } a' = a\ (1-\tfrac{3}{2}\varrho).$$

Diesem gemäfs mufs also auch die Correction wegen der Anzahl der beobachteten Schwingungen, die oben[1] gegeben ist, um nahe ihre Hälfte vergröfsert werden[2].

C. Planetenbewegungen im widerstehenden Mittel.

In den neueren Zeiten hat sich die Theorie des Widerstandes auch in der Astronomie geltend zu machen gesucht. Bisher wurde allgemein angenommen, dafs sich die Körper unsers Sonnensystems im leeren Raume, oder doch in einem äufserst dünnen Medium bewegen, welches auf diese Bewegung durchaus keinen bemerkbaren Einflufs zu äufsern im Stande sey, allein seit Encke die von ihm bemerkte Verkürzung der Umlaufszeit des nach ihm genannten Kometen aus einem solchen Widerstande zu erklären versucht hat, mufste es angemessen erscheinen, die Wirkung, welche ein solches, wenn auch äufserst verdünntes Medium auf die Himmelskörper haben könnte, etwas näher zu untersuchen.

Wir haben bereits oben[3] auf die wichtigen Resultate aufmerksam gemacht, welche man durch die Differentiation der constanten Gröfsen einer gegebenen Gleichung erhalten kann. Das gegenwärtige Problem giebt uns Gelegenheit, das hier in Rede stehende Verfahren weiter auszudehnen und die Vortrefflichkeit dieser Methode noch näher kennen zu lernen. Am meisten ausgebildet aber findet man sie in der Theorie der sogenannten *säculären Störungen* der Planeten, die zuerst Lagrange in seiner unsterblichen *Mécanique analytique* aufgestellt hat und die später besonders von Laplace und Poisson weiter entwickelt worden ist. Immerhin darf wenigstens eine einfache und auf ihre Grundprincipien reducirte Darstellung die-

---

1 S. Art. *Pendel*. Bd. VII. S. 332.

2 M. s. darüber nebst dem, was bereits in dem Art. *Pendel* S. 346 u. f. gesagt wurde: Bessel, Untersuchungen über die Länge des einf. Secundenpendels. Berlin 1828; Francis Baily, On the correction of Pendulum. London 1832. S. 433 und Poisson Mécanique. II. Aufl. Vol. I. S. 363. Von vorzüglichem Einflufs ist der Widerstand der Luft auf die Bahnen der Geschützkugeln, wovon man das Nothwendigste bereits oben Art. *Ballistik* Bd. I. S. 697 gesammelt findet.

3 S. Art. *Umhüllung*. Bd. IX. S. 1209.

ses merkwürdigen Verfahrens, durch welches unsere mathematische Analysis gleichsam eine neue Gestalt gewonnen hat und dessen Anwendung auf Gegenstände der Physik den gröſsten Nutzen für diese Wissenschaft verspricht, in einem Werke dieser Art nicht vermiſst werden.

Nennt man x und y die rechtwinkligen Coordinaten eines Planeten, wo x in der Linie der Nachtgleichen und x.y in der Ebene der Ekliptik und wo der Anfangspunct dieser Coordinaten zugleich der Mittelpunct der Sonne ist, so hat man bekanntlich zur Bestimmung der Bahn, welche der Planet um die Sonne beschreibt, vorausgesetzt, daſs die gegenseitige Anziehung dieser Körper sich direct wie ihre Massen und verkehrt wie das Quadrat ihrer Entfernung verhält, die beiden Differentialgleichungen der zweiten Ordnung

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \frac{\mu x}{r^3} = 0 \\ \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\mu y}{r^3} = 0 \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (I)$$

wo $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ die Entfernung des Planeten von der Sonne, μ eine constante Gröſse und endlich ∂t das Element der Zeit t bezeichnet[1].

Wir wollen uns bei der Integration dieser beiden Gleichungen nicht anfhalten, sondern nur bemerken, daſs, wenn die erste durch ∂x und die zweite durch ∂y multiplicirt wird, die Summe dieser Producte giebt

$$\frac{\partial x^2 + \partial y^2}{\partial t^2} = \frac{2\mu}{r} - \frac{\mu}{a},$$

wo a die Constante der Integration bezeichnet. Multiplicirt man aber die erste jener Gleichungen durch y und die zweite durch x, so giebt die Differenz dieser Producte

$$\frac{x\,\partial y - y\,\partial x}{\partial t} = \sqrt{\mu p},$$

wo wieder p die Constante der Integration ist. Nennt man aber ν den Winkel, welchen der Radius Vector r mit der Axe der x bildet, oder ist ν die sogenannte *wahre Länge* des Planeten, so hat man

---

1 Vergl. Art. *Mechanik*. Bd. VI. S. 1569.

$$x = r \operatorname{Cos}. v \text{ und } y = r \operatorname{Sin}. v,$$

und wenn man diese Werthe von x und y und ihre Differentiale in die zwei vorhergehenden Gleichungen substituirt, so gehn sie dadurch in folgende über:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial r^2 + r^2 \partial v^2}{\partial t^2} &= \frac{2\mu}{r} - \frac{\mu}{a} \\ \frac{r^2 \partial v}{\partial t} &= \sqrt{\mu p} \end{aligned}\right\} \dots \text{(II)}$$

die man auch so schreiben kann, um die beiden zuvor eingeführten Constanten a und p wieder zu entfernen:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial . (\partial r^2 + r^2 \partial v)}{\partial t^2} - 2\mu \partial . \frac{1}{r} &= 0 \\ \partial . r^2 \partial v \quad &= 0 \end{aligned}\right\} \dots \text{(II)}$$

Diese Gleichungen (II), oder die ihnen unmittelbar vorhergehenden, sind als die ersten Integrale der Gleichungen (I) anzusehn, und von ihnen giebt, wie man sieht, die erste die *Geschwindigkeit* des Körpers in seiner Bahn, die zweite drückt das bekannte Gesetz aller Centralbewegungen aus, daſs die von dem Radius Vector beschriebene Fläche der Zeit proportional ist. Die endlichen Integrale der Gleichungen (I) aber, die man in allen besseren Lehrbüchern der Mechanik oder der Astronomie entwickelt findet und die auch bereits oben[1] mitgetheilt wurden, sind folgende:

$$\left.\begin{aligned} r &= a(1 - e \operatorname{Cos}. u) \\ n t + E - \omega &= u - e \operatorname{Sin}. u \\ \operatorname{Tang}. \tfrac{1}{2}(v - \omega) &= \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{Tang}. \tfrac{1}{2} u \end{aligned}\right\} \dots \text{(III)}$$

In diesen Ausdrücken bezeichnen r und v den Radius Vector und die wahre Länge des Planeten, wie zuvor, und überdieſs

E die sogenannte Epoche oder die mittlere Länge des Planeten für die Zeit $t = 0$;

ω die Länge des Periheliums der elliptischen Planetenbahn, oder den Winkel, welchen der kürzeste Radius Vector des Planeten mit der Axe der x macht;

---

1 S. Art. *Mittlerer Planet.* Bd. VI. S. 2313.

a die halbe grofse Axe und ae die Excentricität der elliptischen Bahn;

n die mittlere tägliche Bewegung des Planeten, also auch $nt + E - \omega$ die sogenannte mittlere Anomalie des Planeten.

Die Gröfse u endlich (oder die excentrische Anomalie) erscheint hier nur als eine Hülfsgröfse zur bequemeren Berechnung, so dafs demnach die beiden ersten der Gleichungen (III), aus welchen man u eliminiren kann, als eine einzige Gleichung zu betrachten sind. Diese Gleichungen (III) sollen uns nämlich in den Stand setzen, für jede gegebene Zeit t den wahren Ort des Planeten in seiner Bahn zu bestimmen. In der That giebt auch die zweite jener Gleichungen für jeden Werth von t die Hülfsgröfse u. Kennt man aber u, so giebt die erste dieser Gleichungen den Radius Vector r, und die dritte endlich die wahre Länge ν. Durch diese beiden Gröfsen r und ν aber ist, wie man sieht, der gesuchte Ort des Planeten vollkommen bestimmt.

Die vier Gröfsen a, e, E und ω sind also die vier willkürlichen, aber constanten Gröfsen, die durch die doppelte Integration der zwei Gleichungen (I) eingeführt worden sind; die Gröfse n aber ist eine andere Constante, die nach dem bekannten Gesetze Kepler's mit der Gröfse a und der anfangs eingeführten Gröfse μ durch folgende Gleichung:

$$a^3 . n^2 = \mu \text{ oder } n = \frac{\sqrt{\mu}}{a\sqrt{a}}$$

verbunden ist.

Um aus diesen Gleichungen (III) auch noch die Gleichung der Bahn zwischen den beiden Polarcoordinaten r und ν abzuleiten, so kann man den Ausdruck

$$\text{Tang.}^2 \frac{u}{2} = \frac{1-e}{1+e} . \text{Tang.}^2 \frac{\nu - \omega}{2}$$

auch auf folgende Weise schreiben:

$$\frac{1 - \text{Cos.}\, u}{1 + \text{Cos.}\, u} = \frac{1-e}{1+e} . \frac{1 - \text{Cos.}\,(\nu - \omega)}{1 + \text{Cos.}\,(\nu - \omega)},$$

und aus der letzten Gleichung folgt sofort

$$\text{Cos.}\, u = \frac{e + \text{Cos.}\,(\nu - \omega)}{1 + e\,\text{Cos.}(\nu - \omega)}.$$

Substituirt man aber diesen Werth von Cos. u in der ersten der Gleichungen (III), so erhält man

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\,\mathrm{Cos.}\,(\nu-\omega)},$$

und dieses ist demnach die gesuchte Gleichung der Bahn, die also

eine Ellipse ist, wenn a positiv, oder auch wenn $e<1$;
— Hyperbel —, — a negativ, — — — $e>1$;
— Parabel —, — a unendlich, — — — $e=1$ ist.

Stellen wir demnach die Gleichungen (III) noch einmal zur besseren Uebersicht zusammen, so hat man, wenn man der Kürze wegen die Constante $a(1-e^2) = p$ setzt:

$$\left.\begin{aligned} r &= a(1-e\,\mathrm{Cos.}\,u) = \frac{p}{1+e\,\mathrm{Cos.}\,(\nu-\omega)} \\ \left(\frac{\mu}{a^3}\right)^{\frac{1}{2}}&.t+E-\omega = u - e\,\mathrm{Sin.}\,u \\ \mathrm{Tang.}\,\tfrac{1}{2}(\nu-\omega) &= \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}\,.\,\mathrm{Tang.}\,\tfrac{1}{2}\,u \end{aligned}\right\}\ldots\ (\mathrm{III})$$

Ehe wir aber weiter gehn, wird es nicht überflüssig seyn zu zeigen, daſs diese Gleichungen (III) auch in der That, wie wir oben gesagt haben, die endlichen Integrale der vorhergehenden Gleichungen (I) oder (II) sind.

Zu diesem Zwecke wird man nun die Gleichungen (III) in Beziehung auf die in ihnen enthaltenen Variabeln ν, r, t und u wieder differentiiren. Man wird so erhalten:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{r}\sqrt{\frac{\mu}{a}},$$

$$\frac{\partial \nu}{\partial t} = \frac{\sqrt{\mu p}}{r^2},$$

$$\frac{\partial r}{\partial t} = e\left(\frac{\mu}{p}\right)^{\frac{1}{2}}.\mathrm{Sin.}\,(\nu-\omega).$$

Substituirt man aber diese Werthe von $\frac{\partial \nu}{\partial t}$ und $\frac{\partial r}{\partial t}$ in dem Ausdrucke

$$\frac{\partial r^2 + r^2 \partial v^2}{\partial t^2},$$

so erhält man

$$\mu\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right),$$

wie in der ersten der Gleichungen (II), und substituirt man den gefundenen Werth von $\frac{\partial v}{\partial t}$ in $\frac{r^2 \partial u}{\partial t}$, so erhält man $\sqrt{\mu p}$, wie in der zweiten der Gleichungen (II).

Das Vorhergehende über die Bewegung der Planeten im leeren Raume vorausgeschickt, wollen wir nun sehn, welchen Einfluſs auf diese Bewegung ein in dem Weltraume verbreitetes Medium von sehr geringer Dichtigkeit haben würde. Wir nehmen auch hier den Widerstand eines solchen Mittels dem Quadrate der Geschwindigkeit und der Dichte ϱ des Mittels proportional an, so daſs also dieser Widerstand durch

$$\varrho \cdot \frac{\partial s^2}{\partial t^2}$$

ausgedrückt wird, wo ∂s das Element des Bogens der Planetenbahn bezeichnet. Dieser Widerstand hat nach der Richtung dieses Bogens oder nach der Richtung der Tangente der Planetenbahn statt. Um ihn daher nach der Richtung der Axen der x und der y zu zerlegen, wird man ihn mit dem Cosinus des Winkels multipliciren, welchen die Tangente mit diesen beiden Axen bildet. Diese Cosinus sind aber $\frac{\partial x}{\partial s}$ für die Axe der x und $\frac{\partial y}{\partial s}$ für die Axe der y, so daſs daher der Widerstand für die erste Axe

$$\varrho \cdot \frac{\partial s^2}{\partial t^2} \cdot \frac{\partial x}{\partial s} = \varrho \frac{\partial s . \partial x}{\partial t^2}$$

und für die zweite

$$\varrho \cdot \frac{\partial s^2}{\partial t^2} \cdot \frac{\partial y}{\partial s} = \varrho \frac{\partial s . \partial y}{\partial t^2}$$

seyn wird. Demgemäſs hat man daher für die Gleichungen der Bewegung des Planeten, die den vorhergehenden Gleichungen (I) entsprechen:

$$\left.\begin{array}{l}\frac{\partial^2 x}{\partial t^2}+\frac{\mu x}{r^3}+\varrho\cdot\frac{\partial s \partial x}{\partial t^2}=0 \\ \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}+\frac{\mu y}{r^3}+\varrho\cdot\frac{\partial s \partial y}{\partial t^2}=0\end{array}\right\} \ldots \quad (I')$$

Verfährt man mit ihnen, wie man zuvor mit den Gleichungen (I) verfahren ist, so erhält man folgende, den Gleichungen (II) analoge Ausdrücke:

$$\left.\begin{array}{l}\frac{\partial.(\partial r^2+r^2\partial v^2)}{\partial t^2}-2\mu\partial.\frac{1}{r}+\frac{2\varrho(\partial r^2+r^2\partial v^2)}{\partial t^2}.\partial s=0 \\ \partial.r^2\partial v+\varrho r^2\partial v.\partial s=0\end{array}\right\} \ldots \quad (II')$$

Man sieht, daſs die Gleichungen (I') von den (I) und daſs ebenso die Gleichungen (II') von den (II) nur durch das in ϱ multiplicirte Glied verschieden sind. Da aber ϱ oder die Dichtigkeit des Aethers, in welchem wir die Bewegung der Planeten angenommen haben, nur äuſserst gering gegen alle andere uns bekannte widerstehende Mittel, selbst gegen die Luft, seyn kann, so wird also auch dieses Glied, welches den Unterschied zwischen den Gleichungen (I) und (I'), so wie zwischen den Gleichungen (II) und (II') constituirt, ebenfalls nur als sehr gering zu achten seyn.

Nun sind aber von den Differentialgleichungen (I) oder (II) die endlichen Integrale in den Gleichungen (III) gegeben, und wir werden daher mit Recht schlieſsen, daſs auch die, uns übrigens noch unbekannten endlichen Integrale der neuen Differentialgleichungen (I') und (II') von den vorhergehenden Integralgleichungen (III) ebenfalls nur um sehr kleine, in dieselbe Gröſse ϱ multiplicirte Gröſsen verschieden seyn müssen. Allein wie soll man unter dieser Voraussetzung zu diesen endlichen Integralen der Gleichungen (I') gelangen?

Die Gleichungen (III) sind, wie wir gesehn haben, als die endlichen Integrale der Gleichungen (I) zu betrachten, daher sie auch die vier constanten Gröſsen a, e, E und ω enthalten, welche durch die doppelte Integration der zwei Gleichungen (I) eingeführt werden. Diese Gleichungen (III) gehören, wie wir ebenfalls schon bemerkt haben, für eine Ellipse, oder eigentlich für denjenigen Kegelschnitt, welchen der Planet, wenn er

sich im freien Raume bewegt, um die Sonne, die in dem einen Brennpuncte dieses Kegelschnitts ruht, beschreibt. Ist nun der Raum, in welchem sich der Planet bewegt, nicht mehr ganz leer, sondern mit Aether, mit einer Masse von sehr geringer Dichtigkeit, erfüllt, so wird man doch annehmen können, dafs auch hier noch der Planet in jedem Augenblicke das Element eines elliptischen Bogens beschreibt, dafs aber auch dieses Element am Ende eines jeden Augenblicks durch den Einflufs des Aethers gestört oder unendlich wenig verändert wird, so dafs demnach der Planet, durch die Wirkung des widerstehenden Mittels, zwar noch immer in einer Ellipse, aber in einer jeden Augenblick veränderten Ellipse einhergeht, oder mit andern Worten, die neue Bahn des Planeten wird auch noch jetzt als eine Ellipse, aber als eine Ellipse mit veränderlichen Elementen zu betrachten seyn, oder endlich, die endlichen Gleichungen (III), welche die Integrale von (I) für den leeren Raum sind, werden auch noch die Integrale von den Gleichungen (I') vorstellen können, wenn man nur in ihnen die vier constanten Gröfsen a, e, E und ω, welche die Elemente der Planetenbahn vorstellen, jetzt als *veränderliche* Gröfsen betrachtet.

Wenn man sich vorstellt, dafs man die Ellipse (nämlich die constante Ellipse im leeren Raum) für jeden einzelnen Augenblick nach den für diesen Augenblick statt habenden Werthen von a, e, E und ω construirt, so werden sich alle diese Ellipsen, die unendlich nahe an einander liegen und deren jede von der nächst vorhergehenden nur unendlich wenig verschieden ist, je zwei und zwei in ihren Peripherieen schneiden, und alle diese Durchschnittspuncte werden eine andere krumme Linie bilden, welche alle jene speciellen Ellipsen *einhüllt*, so dafs jede jener speciellen Ellipsen in ihrem Durchschnittspuncte mit der nächstfolgenden jene sie alle einhüllende Curve berührt. Da auf diese Weise für jeden dieser Puncte, die einer der speciellen Ellipsen und der einhüllenden Curve gemeinschaftlich zugehören, nicht nur die endlichen Werthe der rechtwinkligen Coordinaten x, y oder, was dasselbe ist, nicht nur die endlichen Werthe der Polarcoordinaten v und r, sondern wegen der erwähnten Tangirung beider Curven auch ihre ersten Differentiale ∂v und ∂r dieselben seyn müssen, so wird man die Gleichungen (II) und (III), so wie auch die Glei-

chungen (II′) als coexistirend betrachten können, wenn man nur in den endlichen Gleichungen (III) die vier erwähnten Gröfsen a, e, E und ω nicht mehr als beständige, sondern als veränderliche Gröfsen behandelt.

Diesem gemäfs wird man also, ganz analog mit dem, was oben[1] gesagt worden ist, die Gleichungen (II) sowohl, als auch die Gleichungen (III) in Beziehung auf diese vier Constanten differentiiren und die so erhaltenen Ausdrücke mit denen der Gleichungen (II′), die mit jenen coexistiren, zusammenstellen können. Auf diese Weise werden die zwei Gleichungen (II) auch zwei Differentialgleichungen zwischen ∂a, ∂e, ∂E und $\partial \omega$ geben. Ganz ebenso werden aber auch die drei Gleichungen (III), die wegen der zwischen ihnen zu eliminirenden Hülfsgröfse u eigentlich nur zwei Gleichungen gleichgeltend sind, wieder zwei Differentialgleichungen zwischen ∂a, ∂e, ∂E und $\partial \omega$ geben, und aus diesen vier Differentialgleichungen wird man, auf dem gewöhnlichen Wege der Elimination die Werthe dieser vier Differentiale ∂a, ∂e, ∂E und $\partial \omega$ finden, die dann, wenn man sie integrirt, die gesuchten Ausdrücke für die veränderlichen Elemente jener Ellipse geben werden, die den Gleichungen (I′) oder (II′) für die Bewegung des Planeten im widerstehenden Mittel entspricht.

Wir wollen nun diese vier Differentiationen ausführen, und zuerst die endlichen Gleichungen (III) vornehmen, in welchen wir aber, der gröfseren Einfachheit des Calcüls wegen, statt der letzten

$$\text{Tang.}\,\tfrac{1}{2}(v-\omega)=\sqrt{\frac{1+e}{1-e}}\,.\,\text{Tang.}\,\tfrac{1}{2}u$$

die bekannte und auch oben schon angeführte allgemeine Gleichung der Ellipse

$$r=\frac{a(1-e^2)}{1+e\,\text{Cos.}(v-\omega)}$$

substituiren wollen, so dafs man daher für die Gleichungen (III) die folgenden Ausdrücke haben wird:

$$\left.\begin{aligned} r&=a(1-e\,\text{Cos.}\,u)\\ nt+E-\omega&=u-e\,\text{Sin.}\,u\\ r+r\,e\,\text{Cos.}(v-\omega)&=a(1-e^2)\end{aligned}\right\}\;\ldots\;(\text{III})$$

1 S. Art. *Umhüllung* a. a. O.

Ehe wir die Differentiation dieser Gleichungen vornehmen, bemerken wir noch, daſs man hat

$$\partial . nt = n\partial t + t\partial n,$$

also auch, wenn man integrirt,

$$nt = \int n\partial t + \int t\partial n.$$

Dadurch geht die zweite der Gleichungen (III) über in

$$\int n\partial t + \int t\partial n + E - \omega = u - e \,\mathrm{Sin.}\, u.$$

Da aber E die mittlere Länge des Planeten für die Epoche, von der man die Zeit t zu zählen anfängt, bedeutet, so kann man die Gröſse $\int t\partial n$ als schon in dem Werthe dieser Epoche E enthalten annehmen, so daſs daher die letzte Gleichung in folgende übergeht:

$$\int n\partial t + E - \omega = u - e \,\mathrm{Sin.}\, u.$$

Das Differential dieser Gleichung in Beziehung auf jene vier Constanten ist, wenn man auch die Gröſse u als eine Function derselben Constanten betrachtet,

$$\partial E - \partial\omega + \partial e . \mathrm{Sin.}\, u - \partial u (1 - e \,\mathrm{Cos.}\, u) = 0$$

und auf gleiche Weise giebt auch die erste der Gleichungen (III)

$$\partial a (1 - e \,\mathrm{Cos.}\, u) - a \partial e \,\mathrm{Cos.}\, u + a e \partial u \,\mathrm{Sin.}\, u = 0.$$

Eliminirt man aus diesen zwei Gleichungen die Gröſse ∂u, so hat man

$$\partial a (1 - e \,\mathrm{Cos.}\, u)^2 + a \partial e (e - \mathrm{Cos.}\, u) + a e (\partial E - \partial \omega) . \mathrm{Sin.}\, u = 0.$$

Um aus diesem letzten Ausdrucke auch noch die Gröſse u selbst zu eliminiren, hat man die bekannten goniometrischen Gleichungen:

$$\mathrm{Cos.}\, u = \frac{1 - \mathrm{Tang.}^2 \tfrac{1}{2} u}{1 + \mathrm{Tang.}^2 \tfrac{1}{2} u}; \quad \mathrm{Sin.}\, u = \frac{2 \,\mathrm{Tang.}\, \tfrac{1}{2} u}{1 + \mathrm{Tang.}^2 \tfrac{1}{2} u}.$$

Setzt man darin nach der letzten der drei vorigen Gleichungen (III) die Gröſse

$$\mathrm{Tang.}\, \tfrac{1}{2} u = \sqrt{\frac{1 - e}{1 + e}} . \mathrm{Tang.}\, \tfrac{1}{2} (v - \omega),$$

so erhält man

$$\mathrm{Cos.}\, u = \frac{e + \mathrm{Cos.}\, (v - \omega)}{1 + e \,\mathrm{Cos.}\, (v - \omega)} \text{ und } \mathrm{Sin.}\, u = \frac{\sqrt{1 - e^2} . \mathrm{Sin.}\, (v - \omega)}{1 + e \,\mathrm{Cos.}\, (v - \omega)},$$

und dadurch geht die vorhergehende Differentialgleichung in die folgende über:

$$\partial a.\frac{(1-e^2)}{1+e\,\mathrm{Cos.}(\nu-\omega)}-a\,\partial e\,\mathrm{Cos.}(\nu-\omega)+\frac{a\,e(\partial E-\partial\omega)}{\sqrt{1-e^2}}\mathrm{Sin.}(\nu-\omega)$$
$$=0\ldots(1)$$

Dieses ist die erste der gesuchten Differentialgleichungen, die zweite aber erhält man sofort aus der letzten der Gleichungen (III) oder aus

$$r+r\,e\,\mathrm{Cos.}\nu\,\mathrm{Cos.}\omega+r\,e\,\mathrm{Sin.}\nu\,\mathrm{Sin.}\omega=a(1-e^2),$$

deren Differential nämlich ist

$$r\,\mathrm{Cos.}\nu.\partial(e\,\mathrm{Cos.}\omega)+r\,\mathrm{Sin.}\nu.\partial(e\,\mathrm{Sin.}\omega)=\partial.a(1-e^2)\ \ldots\ (2)$$

Nachdem wir so die Differentiale der Gleichungen (III) erhalten haben, sind nur noch die der Gleichungen (II) oder die Differentiale von

$$\left.\begin{array}{l}\dfrac{\partial r^2+r^2\partial\nu^2}{\partial t^2}-\dfrac{2\mu}{r}+\dfrac{\mu}{a}=0\\ r^2\partial\nu=\sqrt{\mu a(1-e^2)}.\partial t\end{array}\right\}\ \ldots\ (II)$$

zu bestimmen übrig.

Die erste derselben giebt

$$\partial.\left(\frac{\partial r^2+r^2\partial\nu^2}{\partial t^2}\right)-2\mu.\partial\frac{1}{r}+\mu\partial.\frac{1}{a}=0.$$

Aber die erste der Gleichungen (II') war

$$\partial.\left(\frac{\partial r^2+r^2\partial\nu^2}{\partial t^2}\right)-2\mu\partial.\frac{1}{r}=-2\varrho(\partial r^2+r^2\partial\nu^2).\frac{\partial s}{\partial t^2},$$

also ist auch

$$\mu\partial.\frac{1}{a}=2\varrho(\partial r^2+r^2\partial\nu^2).\frac{\partial s}{\partial t^2},$$

und wenn man hierin den obigen Werth von

$$\frac{\partial r^2+r^2\partial\nu^2}{\partial t^2}=\frac{2\mu}{r}-\frac{\mu}{a}$$

aus den Gleichungen (II) substituirt,

$$\partial.\frac{1}{a}=2\varrho\left(\frac{2}{r}-\frac{1}{a}\right).\partial s\ \ldots\ (3)$$

Ebenso giebt endlich die letzte der Gleichungen (II)

$$\partial.r^2\partial\nu'=\sqrt{\mu}.\partial.\sqrt{a(1-e^2)}.\partial t.$$

Da aber die zweite der Gleichungen (II')

$$\partial . r^2 \partial v = - \varrho r^2 \partial v . \partial s$$

giebt, so hat man

$$\sqrt{\mu} . \partial . \sqrt{a(1-e^2)} \partial t = - \varrho r^2 \partial v \partial s,$$

oder endlich, wenn man darin den vorigen Werth von

$$r^2 \partial v = \sqrt{\mu} . \sqrt{a(1-e^2)} . \partial t$$

substituirt,

$$\partial . \sqrt{a(1-e^2)} = - \varrho \partial s . \sqrt{a(1-e^2)} \;\ldots\; (4)$$

und die Gleichungen (1) bis (4) sind die gesuchten Differentialausdrücke zwischen den Variationen ∂a, ∂e, ∂E und $\partial \omega$ der vier elliptischen Elemente.

Substituirt man in ihnen statt r den bereits öfter angeführten Ausdruck

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1 + e \,\text{Cos.}(v - \omega)},$$

um alles in bloſsen Functionen des Winkels v auszudrücken, und reducirt man diese vier Gleichungen durch Elimination auf solche, die nur eine einzige der vier Gröſsen ∂a, ∂e, ∂E und $\partial \omega$ enthalten, so bekommt man folgende Endgleichungen:

$$\left.\begin{aligned}
\partial a &= - \frac{2 \varrho a}{1 - e^2} (1 + 2 e \,\text{Cos.}(v - \omega) + e^2) \partial s \\
\partial e &= - 2 \varrho (e + \text{Cos.}(v - \omega)) \partial s \\
e . \partial \omega &= - 2 \varrho \,\text{Sin.}(v - \omega) . \partial s \\
\partial E &= + \frac{2 \varrho e \,\text{Sin.}(v - \omega) . (\sqrt{1-e^2} - e^2 - e \,\text{Cos.}(v - \omega))}{(1 + e \,\text{Cos.}(v - \omega)) . (1 + \sqrt{1 - e^2})}
\end{aligned}\right\} \;\ldots\; (Q)$$

Der Werth von $\partial s = \sqrt{r^2 \partial v^2 + \partial r^2}$ wird, wie aus der Gleichung

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1 + e \,\text{Cos.}(v - \omega)}$$

durch Differentiation folgt,

$$\partial s = \frac{a(1-e^2) . \sqrt{1 + 2 e \,\text{Cos.}(v - \omega) + e^2}}{(1 + e \,\text{Cos.} v - \omega))^2},$$

und diesen Werth von ∂s wird man daher in den Gleichungen (Q) substituiren, um sie zu bloſsen Functionen des Winkels v zu machen.

Ist aber, wie es bei den älteren Planeten der Fall ist, die Excentricität e nur klein, so dafs man die zweiten und höheren Potenzen derselben vernachlässigen kann, so gehn die vorhergehenden Gleichungen (Q) in folgende einfachere über:

$$\left.\begin{aligned} \partial a &= -\,2\varrho a^2 \partial v \\ \partial e &= -\,2\varrho a\,\mathrm{Cos.}(v-\omega).\partial v \\ e.\partial\omega &= -\,2\varrho a\,\mathrm{Sin.}(v-\omega).\partial v \\ \partial.E &= +\,2\varrho a e\,\mathrm{Sin.}(v-\omega).\partial v \end{aligned}\right\} \ldots (R)$$

Sieht man, wie es wohl bei diesen Untersuchungen erlaubt ist, die Dichtigkeit ϱ des Aethers für alle Orte unseres Planetensystems als constant an, so sind die Gleichungen (R) sehr leicht zu integriren. Bezeichnet man nämlich durch Δa, Δe, $\Delta\omega$ und ΔE die gesuchten veränderlichen Theile von a, e, ω und E, so findet man durch diese Integration

$$\left.\begin{aligned} \Delta a &= -\,2\varrho a^2.v \\ \Delta e &= -\,2\varrho a\,\mathrm{Sin.}(v-\omega) \\ e.\Delta\omega &= -\,2\varrho a\,\mathrm{Cos.}(v-\omega) \\ \Delta E &= -\,2\varrho a e\,\mathrm{Cos.}(v-\omega) \end{aligned}\right\} \ldots (S)$$

Diese Gleichungen (S) zeigen, dafs durch den Widerstand eines sehr feinen Aethers die grofse Axe 2a der Planetenbahn *ohne Ende abnehmen* mufs, und dafs im Gegentheile für die drei andern Elemente e, E und ω nur periodische Störungen entstehn, die mit jeder Revolution des Planeten um die Sonne wiederkehren.

Da überdiefs die Gröfse

$$n = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$$

ist, so hat man auch

$$\Delta n = -\tfrac{3}{2}\Delta a \sqrt{\frac{\mu}{a^5}}$$

oder, was dasselbe ist,

$$\Delta n = +\,3\varrho a n.v.$$

Es war aber n die mittlere tägliche Bewegung des Planeten oder die *Winkelgeschwindigkeit* desselben, die daher durch den Widerstand des Mittels ebenfalls ohne Ende zunimmt.

Dasselbe gilt auch von der wahren mittleren Geschwindigkeit in seiner Bahn oder in der Richtung der Tangente dieser Bahn. Diese Geschwindigkeit ist nämlich gleich a n, also auch die Veränderung derselben $a\Delta n + n\Delta a$. Substituirt man aber in diesem Ausdrucke für Δa und Δn die oben gefundenen Werthe, so erhält man für diese Tangentialgeschwindigkeit den Ausdruck

$$\varrho a^2 n . \nu .$$

Am meisten Gefahr für die Erhaltung des Planetensystems würde demnach die von dem Widerstande des Aethers kommende Verminderung $\Delta a = -2\varrho a^2 . \nu$ der grofsen Axe der Planetenbahn bringen. Nach ihr würde diese Verminderung für $\nu = 2\pi$ oder für jede Umlaufszeit des Planeten gleich $4\pi\varrho a^2$ seyn, und die Folge davon müfste seyn, dafs der Planet endlich in die Sonne stürzen würde. Wenn übrigens in unserm Planetensystem ein solches widerstehendes Mittel in der That gefunden werden soll, so müfste sich dasselbe vorzüglich bei der Bewegung der Kometen offenbaren, weil ihre Masse sehr klein und ihr Volumen gewöhnlich so grofs ist.

L.

Widerstand der Mittel.

Geschichtlicher und experimenteller Theil.

In der vorausgehenden Abhandlung hat der für die gelehrte Welt und seine zahlreichen Freunde zu früh verstorbene v. Littrow eine treffliche mathematische Theorie des Widerstandes gegeben. Nach der im Ganzen bei der Bearbeitung der physikalischen Probleme in unserm Werke befolgten Methode wird aber zugleich eine, so weit als nöthig ist, vollständige Uebersicht der früheren Leistungen gegeben, damit die Physiker, wenn sie irgend einen Gegenstand durch neue Untersuchungen weiter zu fördern veranlafst werden, auf der bereits vorhandenen Grundlage fortbauen können. Es scheint mir daher nicht blofs angemessen, sondern eigentlicher nothwendig, eine Uebersicht der bisherigen wichtigsten Leistungen in diesem Gebiete hinzuzufügen. Hieraus wird hervorgehn, was für eine grofse Menge der gewiegtesten Mathematiker und Physiker sich

mit diesem Probleme beschäftigt haben, so dafs es zu viel verlangt wäre, wollte man beabsichtigen, alle einzeln namhaft zu machen, was auch überflüssig seyn würde, da man nicht sagen kann, dafs das Problem durch die einander folgenden Untersuchungen schrittweise weiter gefördert und endlich vollkommen gelöst worden sey, vielmehr harrt es noch immer seiner endlichen Lösung, wenn diese anders überhaupt möglich ist.

Man hat die Aufgabe, den Widerstand der Mittel aufzufinden, auf zwei verschiedenen Wegen zu erledigen gestrebt, entweder indem man die Kraft zu ermitteln suchte, welche erfordert wird, um einen festen Körper in der ruhenden Flüssigkeit zu bewegen, oder indem man denjenigen Effect mafs, welchen die bewegte Flüssigkeit gegen einen ruhenden Körper ausübt, weil man beides für gleich hielt, was aber nicht genau der Fall ist. Die Untersuchung des letzteren gehört zum *Stofse der Körper*, und hierüber ist das Nöthige bereits oben[1] beigebracht worden, aufser dem, was sich auf die expansiblen Flüssigkeiten bezieht und in den Art. *Wind* und *Windmühle* eine geeignetere Stelle findet. Hier wird demnach im Allgemeinen nur von dem Widerstande die Rede seyn, welchen die ruhenden oder mindestens als ruhend angenommenen Flüssigkeiten den in ihnen bewegten festen Körpern entgegensetzen, obgleich verschiedene der zu erwähnenden Abhandlungen beides vereinigen. Endlich liefsen sich auch die Untersuchungen über den Widerstand, welchen die Luft den in ihr bewegten Körpern entgegensetzt, von denjenigen trennen, wodurch der Widerstand des Wassers (denn diese beiden Flüssigkeiten hatte man zunächst im Auge) ermittelt werden sollte, da aber beide sehr häufig mit einander verbunden sind, so erscheint diese Trennung minder zweckmäfsig.

1) Die ganze Aufgabe kam zuerst in Anregung, als Galilei die Gesetze des Falles aufgefunden und das sogenannte *ballistische Problem*[2] hierauf gegründet hatte. Unter die frühesten Versuche zur Auffindung der Gesetze des Widerstandes sind diejenigen zu zählen, welche von der Akademie del Cimento[3] mit Kugeln aus einer Muskete geschossen angestellt

1 S. Art. *Stofs*. Bd. VIII. S. 1099.

2 S. Art. *Ballistik*. Bd. I. S. 698.

3 Musschenbroek Tentamina experimentorum naturalium. P. II. p. 117.

wurden, wobei sich ergab, dafs die aus gröfseren Höhen geschossenen mit geringerer Kraft aufschlugen, als die unmittelbar aus dem Laufe fahrenden. An diese schliefsen sich zunächst die von RICCIOLI[1], welche dieser in Verbindung mit andern Gelehrten vom Jahre 1640 bis 1650 anstellte, indem er leichtere und schwere, hohle und massive Kugeln von etwa 280 röm. Fufs Höhe herabfallen, andere aber im Wasser niedersinken oder aufsteigen liefs und die ungleiche, hierzu erforderliche Zeit mafs. Unter die bedeutendsten Bemühungen gehören diejenigen, welche DECHALES[2] auf dieses Problem verwandte, indem er die aus Versuchen erhaltenen Gröfsen unter ein allgemeines Gesetz zu bringen suchte, was jedoch nicht so einfach zu erhalten war, als das so eben von GALILEI für den freien Fall der Körper gefundene. Am bekanntesten und in der folgenden Zeit fast allein beachtet ist das durch NEWTON[3] aufgestellte Gesetz, wonach allgemein der Widerstand der einzelnen Flüssigkeiten dem Quadrate der Geschwindigkeiten proportional angenommen wird. Gleichzeitig und bald nachher beschäftigten sich verschiedene Gelehrte mit diesem Probleme und stellten den theoretisch wohl begründeten Satz auf, dafs der Widerstand einer Flüssigkeit gegen eine in normaler Richtung auf dieselbe bewegte Fläche dem Gewichte einer Säule dieser Flüssigkeit von der Basis der gegebenen Fläche und einer Höhe, woraus herabfallend sie die Geschwindigkeit der bewegten Fläche erhalten würde, gleich zu setzen sey. Unter denen, welche sich mit diesen Untersuchungen beschäftigten, verdienen vorzugsweise LEIBNITZ[4], HUYGHENS[5], WALLIS[6] und VARIGNON[7] genannt zu werden. Letzterer setzt zuerst die Hypothese voraus, wonach der Widerstand der Geschwindigkeit proportional gesetzt wird, und sucht die Curve auf, welche ein Körper hiernach beschreiben müfste, zugleich prüft

---

1 Almagestum novum cet. 2 Voll. fol. Bologna 1651.

2 Cursus mathematicus Lyon. 3 T. fol. T. I. p. 276.

3 Philos. Nat. princ. math. L. II. sect. 1, 2 u. 3.

4 Acta Erud. Lips. 1689. p. 39.

5 De causa gravitatis. p. 168.

6 Mechanica, sive de Motu. In Opp. math. T. II. C. 101. p. 438. Phil. Trans. 1687. N. 185.

7 Hist. de l'Acad. 1707. p. 382. 1708. p. 113. 212. 251. 302. 419. 1709. p. 69. 1710. p. 63. 193. 243. 491.

er aber auch die Hypothese, wonach der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional seyn soll, und findet diese angemessener. Die Untersuchungen wurden stets aufs neue wieder durch den Umstand angeregt, daſs die Versuche, die man zur Prüfung der Theorie anstellte, diese nicht vollständig bestätigten, was sehr leicht begreiflich wird, wenn man die theoretisch vorausgesetzten Bedingungen mit den in der Wirklichkeit statt findenden vergleicht. Diese beruhn hauptsächlich auf dem Umstande, daſs die elastischen Flüssigkeiten durch den erlittenen Widerstand zusammengedrückt werden, alle Flüssigkeiten aber vor dem bewegten Körper abflieſsen und die seitwärts befindlichen den hinten entstandenen Raum wieder ausfüllen müssen.

2) Schon NEWTON lieſs im Jahre 1710 Versuche durch HAWKSBEE in der Paulskirche zu London anstellen, deren Resultate mit den durch Rechnung gefundenen sehr gut übereinstimmten[1]. Dabei fielen verschiedene Kugeln von Glas aus einer Höhe von 220 engl. Fuſs; die Zeiten ihres Fallens wurden gemessen und mit denen verglichen, die sie ihrem Durchmesser, ihrem Gewichte und der Dichte der Luft gemäſs, die man 860mal dünner als das Wasser annahm, mit Rücksicht auf den vorhandenen Widerstand hierzu bedurften. Die auf solche Weise gefundenen Gröſsen giebt folgende Tabelle:

Gewichte		Durchmesser		Fallzeiten				berechnete Höhen.			
510	Gran	5,1	Zoll	8	Sec.	12	Tert.	226	Fuſs	11	Zoll
642	—	5,2	—	7	—	42	—	230	—	9	—
599	—	5,1	—	7	—	42	—	227	—	10	—
515	—	5,0	—	7	—	57	—	224	—	5	—
483	—	5,0	—	8	—	12	—	225	—	5	—
641	—	5,2	—	7	—	42	—	230	—	7	—

Da die Fallhöhe 220 Fuſs betrug, so weichen die berechneten hiervon im Maximum nur 10 F. 7 Z., im Minimum nur 4 F. 5 Z. ab. Weit minder günstige Resultate gaben NEWTON's[2] Versuche mit Pendeln aus Kugeln von verschiedener Gröſse

1 Phil. Nat. Princ. L. II. Prop. XL. Schol. gener. HAWKSBEE Experimenta physico-mechanica. Vergl. MUSSCHENBROEK Tentamina. p. 118.

2 Principia Lib. II. Prop. XXXI. Schol. gen.

und ungleichem Gewichte, indem vorzugsweise bei sehr kleinen Schwingungen der Satz, dafs der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sey, mit der Erfahrung nicht übereinstimmte. Es schien aus dieser vielmehr hervorzugehn, dafs der Widerstand durch zwei Ursachen erzeugt werde, von denen nur die eine dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sey, die andere aber, vorzüglich bei langsamen Bewegungen, in einem hiervon abweichenden Verhältnisse sehr bedeutend wirke, und er sah sich endlich genöthigt, die Untersuchung dieses zweiten Theils des Widerstandes gänzlich aufzugeben.

3) Im Jahre 1719 stellte Desaguliers[1] zum Theil in Beiseyn von Halley, Jurin, Folkes und Graham eine Reihe von Versuchen an, wobei er leichte hohle Kugeln aus Schweinsblasen von 272 Fufs Höhe herabfallen liefs. Die Resultate waren folgende:

Gewichte		Durchmesser		Fallzeiten		berechnete Höhen			
128	Gran	5,28	Zoll	19	Sec.	271	Fufs	11	Zoll
156	—	5,19	—	17	—	272	—	10,5	—
137,5	—	5,30	—	18,5	—	272	—	7	—
97,5	—	5,26	—	22	—	277	—	4	—
99,5	—	5,00	—	21,125	—	282	—	0	—

Das Minimum der Abweichung beträgt hierbei nur 1 Zoll, das Maximum dagegen 10 Fufs; in beiden Versuchsreihen, in dieser wie in der früheren, fällt das Resultat der Erfahrung im Ganzen unter das der Berechnung. Aehnliche Versuche, welche Desaguliers über den Widerstand des Wassers anstellte, gaben gleich befriedigende Resultate. Uebrigens fand er zugleich, dafs dichte Bleikugeln von 2 Zoll Durchmesser in 4,5 Sec. um 50 Fufs und gläserne hohle Kugeln von 5,5 Zoll Durchmesser in 6 Sec. um 288 Fufs weniger tief fielen, als sie im leeren Raume gefallen seyn würden, woraus der grofse Widerstand der Luft evident hervorging.

4) Unter die ältesten Bemühungen, das Problem vom Widerstande der Mittel theils durch theoretische Betrachtungen,

1 Philos. Trans. N. 362. T. XXX. XXXI.

theils durch die Erfahrung zu lösen, gehören ferner die von MARIOTTE[1] in Gegenwart LA HIRE's[2] angestellten. Beide nahmen theoretisch den oben bereits ausgesprochenen Satz an, dafs der Widerstand einer Flüssigkeit dem Stofse derselben, wenn sie mit gleicher Geschwindigkeit bewegt werde, gleich sey; zu den Versuchen wandte ersterer Kugeln an, die er aus verschiedenen Höhen in der Spindel der Windeltreppe der Pariser Sternwarte herabfallen liefs und wobei er die Fallzeit mittelst der Schwingungen eines Pendels mafs, indem er dem Schalle eine Geschwindigkeit von 1080 Fufs in 1 Sec. beilegte. Die Fallhöhe von oben bis zum Brete, worauf die Kugeln fielen, betrug 166,5 Fufs, und wenn die Resultate so genau mit seiner Hypothese übereinstimmten, so lag die Ursache hiervon zunächst wohl an der Unvollkommenheit der Versuche selbst. In Folge des wachsenden Widerstandes müssen fallende Kugeln eine constante Geschwindigkeit in Zeiten annehmen, die sich bei denen von ungleichen Massen wie die Quadratwurzeln ihrer specifischen Gewichte, bei ungleich grofsen wie die Quadratwurzeln ihrer Durchmesser verhalten sollten. MARIOTTE hat nach diesen Gesetzen ausführliche Tafeln berechnet. LA HIRE hielt es für unzweifelhaft, dafs der Widerstand sich verhalte wie das Quadrat der Geschwindigkeit, die Gröfse desselben könne aber nur durch Versuche ermittelt werden, weswegen er, nicht befriedigt durch die eben erwähnten, bei denen die ungleiche Dichtigkeit der Luft unberücksichtigt geblieben war, eigene mit verschiedenen Apparaten anstellte. Als Resultat will er gefunden haben, dafs eine in atmosphärischer Luft fallende Bleikugel in der ersten Secunde $\frac{2}{3}$ Fufs verliere, mithin nur durch einen Raum von 14 Fufs falle, und dafs allgemein die durch den Widerstand der Luft erzeugte Verzögerung der Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers $\frac{2}{3}t^3$ Fufs betrage, wenn t die Zeit in Secunden bezeichnet. Aus NEWTON's Pendelversuchen und aus den Resultaten, welche GÜNTHER zu Petersburg aus den Zeitintervallen lothrecht in die Höhe geschossener eiserner Kugeln bis zu ihrem Herabfallen erhielt, folgerte DAN. BERNOULLI[3], dafs der Widerstand durch

1 Traité de la Percussion ou du Choc des corps. 3me éd. Par. 1679. Oeuvres. Leide 1717. T. I. p. 99 ff.

2 Mém. de l'Acad. 1714. p. 333.

3 Comm. Acad. Petrop. T. II. p. 330. T. IV. p. 136.

zwei Werthe, einen beständigen und einen andern, dem Quadrate der Geschwindigkeit proportionalen, ausgedrückt werden könne, ein Resultat, zu welchem auch s'GRAVESANDE[1] durch eine grofse Reihe von Versuchen gelangte. Auch D'ARCY's[2] Versuche, wodurch er neben anderen Aufgaben zugleich den Widerstand der Luft auszumitteln sich bemühte, verdienen erwähnt zu werden. Er bediente sich bei denselben eines nach der Art construirten, etwas von ihm verbesserten, ballistischen Pendels, als welches auch ROBINS angewandt hatte, schofs gegen dasselbe aus gemessenen Abständen Flintenkugeln, die von der auf das eiserne Pendel geschraubten Stahlplatte zurückprallten, und berechnete dann aus der Gröfse des Bogens, um welchen das Pendel zurückgewichen war, die Geschwindigkeit der Kugeln bei ihrem Aufschlagen, wobei aus dem Unterschiede dieser und ihrer Anfangsgeschwindigkeit die Verzögerung durch die Luft oder die Gröfse des Widerstandes hervorging. Diese Bemühungen um die Lösung eines ebenso wichtigen, als schwierigen Problems, obgleich sie weniger bekannt sind, verdienen denen von ROBINS und HUTTON an die Seite gesetzt zu werden, und gewähren noch gröfsere Belehrung, wenn man sie mit den Anmerkungen verbindet, welche LAMBERT[3] über sie bekannt gemacht hat. D'ALEMBERT[4] vermochte nicht, das Problem, welchen Widerstand die im Wasser bewegten Körper erleiden, zu seiner eigenen Zufriedenheit aufzulösen, und L. EULER[5], welcher den Widerstand

1 Physices elementa mathem. T. I. §. 1908 ff.

2 Essay d'une théorie d'Artillerie. Dresd. 1766. 8.

3 Anmerkungen über die Gewalt des Schiefspulvers und den Widerstand der Luft. Dresden 1766. 8. In dem gegenwärtigen Jahrhundert sind die im vorigen verhältnifsmäfsig sehr häufigen Versuche mit lothrecht oder gegen das ballistische Pendel geschossenen Kugeln zur Erforschung des Widerstandsgesetzes der Luft nicht weiter angestellt worden, vermuthlich weil die Schwierigkeiten zu grofs sind, als dafs man dadurch zu einem genügenden Resultate zu gelangen hoffen dürfte. Wäre es möglich, gröbere Geschützkugeln in lothrechter Richtung emporzuschiefsen, zugleich aber die erreichte Höhe und die Zeit ihres Ausbleibens genau zu messen, so würde dieses Mittel sehr geeignet seyn, das Gesetz des Widerstandes der Luft aufzufinden. Vergl. Dissert. phys. math. de lege resist. aëris in proiectilia. Auct. TENGSTRÖM. Aboae 1822.

4 Hist. de l'Acad. de Paris. 1753. p. 289.

5 Comm. Petrop. T. IV. p. 67. Nov. Comm. T. IV. p. 131. T. VI.

der Mittel wiederholt untersuchte und sich dabei speciell auch auf den des Wassers gegen die bewegten Schiffe bezog, gelangte zu dem Resultate, daſs man die Aufgabe wohl auf analytische Formeln zurückbringen könne, ohne daſs jedoch die Analysis die erforderlichen Mittel besitze, die gefundenen Gleichungen aufzulösen.

5) Verschiedene Abhandlungen über diese Aufgabe mögen nur im Vorbeigehn erwähnt werden, um einige der wichtigern etwas mehr zu berücksichtigen. Dahin gehören die von Wallis[1] über den Widerstand der Luft, von Derham[2] über die Schwingungen eines Pendels im leeren Raume, die vielen, allerdings gehaltreichen von Varignon[3], von Maupertuis[4], Sulzer[5], Lambert[6] und einigen Andern. Die beiden französischen Gelehrten, welche sich vorzugsweise um die Aufhellung dieses Problems verdient machten, Coulomb und de Borda[7], sind eben bereits genannt, auch ist die Maschine beschrieben worden, deren sich der erstere zu seinen Versuchen bediente und bei welcher die von ihm so viel untersuchte Torsion zum Grunde lag. Derjenige Apparat, welchen der letztere anwandte, gleicht sehr den von den Engländern gebrauchten. Er besteht im Wesentlichen aus einem runden Gefäſse von
Fig. 193. Weiſsblech AB, auf einer Unterlage CD ruhend, welche eine bei E rechtwinklig umgebogene Stange trug und mit einer Unterstützung α versehn war, um die eine Spitze der Umdrehungsmaschine aufzunehmen, deren andere Spitze in dem Arme β einen Anhaltpunct hatte. Die Rolle δ, mit der um sie ge-

p. 338. T. VIII. p. 197. T. X. p. 156. T. XVII. p. 333. Mém. de l'Acad. de Berlin 1753. p. 34. Auch in dessen Scientia navalis cet. Petrop. 1749. 2 Voll. 4. Im Allgemeinen hat derselbe die Lehre vom Widerstande der Mittel schon in seiner Mechanik: Mechanica sive motus scientia analytice exposita. 2 Voll. 4. Petrop. 1736. T. I. cap. 4. p. 367 abgehandelt. Einen Auszug hieraus findet man in: A. G. Kaestner's Anfangsgründe der höheren Mechanik. 2te Aufl. Gött. 1793. 1. Abth. S. 115.

1 Philos. Trans. 1686. T. XVI. p. 269.

2 Ebendaselbst 1704. T. XXIV.

3 Histoire de l'Acad. 1707. p. 193. 382. 1708. p. 123. 212. 250. 302 u. 319. 1710 u. 1711. p. 87 u. 248.

4 Ebend. 1730. p. 233. Hist. p. 94.

5 Mém. de l'Acad. de Berlin 1755. p. 104. 1761. p. 41.

6 Ebendaselbst. 1765. p. 102.

7 Mém. de l'Acad. 1763, 1767 u. 1770.

wundenen Schnur und dem Gewichte P, welches die Umdrehung der Maschine bewirkte, sind für sich klar. An einem herabgehenden Arme war der Körper a befestigt, welcher durch die Umdrehung der Maschine gegen das im Gefäſse AB befindliche ruhende Wasser bewegt werden sollte. Dieser bestand entweder aus einer ganzen Kugel von 59 Lin. Durchmesser, oder aus der einen Hälfte derselben, im welchem letzteren Falle entweder die krumme oder die gerade Durchschnittsfläche normal auf die Bahn gerichtet war. Das Gewicht P setzte die Maschine in Bewegung, und nachdem diese gleichförmig geworden war, zählte de Borda an einem halben Secundenpendel die Zahl der Schwingungen, welche bei verschiedenen Gewichten zu zwei Umdrehungen durch einen ganzen Kreis erfordert wurden. Die auf diese Weise erhaltenen Gröſsen corrigirte er durch Abziehen desjenigen Gewichtes, welches den Apparat für sich allein in gleich schnelle Bewegung zu setzen vermochte, und erhielt dann folgende verbesserte Werthe:

Gewichte	Pendelschwingungen Ebene Fläche	Runde Fläche	Ganze Kugel
4 Unzen	380,00	235,00	236,00
8 —	266,50	168,25	168,25
1 Pfund	186,50	117,25	117,75
2 —	132,14	83,00	83,17
4 —	92,17	58,83	59,00
8 —	65,83	41,50	41,62

Aus diesen und andern oft wiederholten Versuchen folgerte er:

a) daſs der Widerstand des Wassers allgemein für alle Körper innerhalb der Grenzen der beobachteten Geschwindigkeiten der Quadraten den letzteren proportional sey;

b) daſs der Widerstand gegen die Halbkugel und gegen die ganze Kugel gleich sey und demnach kein Einfluſs der hinteren Fläche statt finde.

Das mehrerwähnte bekannte Gesetz, wonach der Widerstand des Wassers gegen eine Kugel gleich seyn soll dem Gewichte einer Wassersäule von der Basis des gröſsten Kreises der Kugel und der halben Höhe, welche der Geschwindigkeit der bewegten Kugel als Fallgeschwindigkeit zugehört, wurde auf die hier erhaltenen Resultate angewandt, und eine ausführ-

liche Berechnung ergab, dafs die Versuche mit der Theorie im Verhältnifs von 1240:1127 übereinstimmten, wonach ihm also dieses Gesetz bestätigt schien. Die Widerstände gegen die Kreisfläche und die ihr zugehörige Kugel stehn im Verhältnifs der Quadrate der Pendelschwingungen, also $380^2:236^2$. Aus allen gefundenen Zahlen geht im Mittel das Verhältnifs 2508:1000 oder nahe 5:2 hervor, und eben dieses fand DE BORDA auch für die Luft[1]. Zugleich stellte sich ein unerwarteter und merkwürdiger Umstand heraus, indem sich der Widerstand gegen die Kugel gröfser zeigte, wenn sie sich dicht unter der Oberfläche des Wassers bewegte, als in der Mitte desselben.

6) Eine ähnliche Maschine, als die eben beschriebene, hat auch VINCE[2] zu seinen Versuchen angewandt. Sie unterschied sich dadurch, dafs statt der Kugel vier Bleche an vier sich rechtwinklig durchkreuzenden Armen in der Flüssigkeit, die Flächen normal oder unter einem beliebigen Winkel gegen die Bahn geneigt, bewegt wurden. Nach der zur Deutlichmachung derselben genügenden Zeichnung bestand dieselbe aus einem soliden Bodenstücke AB, welches auf einem schweren Tische oder einer sonstigen möglichst unbeweglichen Unterlage festgeschraubt wurde. Auf diesem war ein Rahmen CDEF aufgerichtet, um die stählerne Spindel festzuhalten, die mit ihrer unteren feinen Spitze a auf einer ausgehöhlten Stahlplatte ruhte, bei γ durch einen messingnen Ring, der geringeren Reibung wegen, gesteckt war, und an ihrem oberen Ende b eine Platte trug, auf welcher die sich rechtwinklig durchkreuzenden Arme mit den Flügeln α, α, α, α befestigt waren. Um die Spindel war in entgegengesetzten Windungen eine feine seidene Schnur gewunden, welche, über die Rollen δ, δ geschlungen, an jedem Ende durch ein Gewicht P, P herabgezogen wurde. Diese Vorrichtung des Ziehens nach entgegengesetzten Seiten ist allerdings sehr sinnreich ausgedacht, und giebt dieser Maschine einen Vorzug vor der vorher beschriebenen und den beiden nachfolgenden, bei denen durch den einseitigen Zug bei zunehmendem Widerstande und vermehrtem Gewichte nothwendig die Reibung gröfser werden mufste. Sollte die Maschine zu

Fig. 194.

1 Mém. de l'Acad. 1763.

2 Philos. Trans. 1795. T. LXXXV. p. 24. 1798. T. LXXXVIII. p. 1. G. II. 401. IV. 34.

Versuchen mit Wasser dienen, so wurde die Spindel über b hinaus verlängert, und daselbst oben die Schnur umgewunden, während der untere Theil mit den Flügeln in einem Behälter mit Wasser stand. Die Maschine konnte übrigens sowohl mit 4 als auch mit 2 Flügeln versehn seyn, und wenn dieselben nicht lothrecht, sondern in einem gewissen Winkel gegen die horizontale Ebene ihrer Bahn gerichtet waren, so gebrauchte Vince die Vorsicht, die einander gegenüber stehenden Flügel entgegengesetzt zu drehn, damit nicht in Folge einer hieraus erwachsenden Hebung oder Herabdrückung die Friction der Spitze a vermindert oder vermehrt würde.

Soll bei Versuchen mit dieser Maschine die Geschwindigkeit der Bewegung gemessen werden, so muſs man nothwendig den *Mittelpunct des Widerstandes* kennen, um dessen Abstand von der Umdrehungsaxe oder den Halbmesser des hierdurch beschriebenen Kreises zu wissen. Heiſst dieser Halbmesser a, der Flächeninhalt der Scheibe A, so ist ein Element derselben ∂A, und wenn der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist, wie man immerhin für diesen Zweck als genähert richtig annehmen kann, so ist für einen unbekannten Abstand $= x$ dieses Elementes von der Umdrehungsaxe der Widerstand $= x^2 . \partial A$ und endlich mit Rücksicht auf das Gesetz des Hebels $x^3 . \partial A$. Der Widerstand gegen die ganze Fläche wird also $= \int x^3 . \partial A$ seyn, und da man ihn aus gleichen Gründen $= a^3 . A$ setzen kann, so ist

$$\int x^3 . \partial a = a^3 A, \quad \text{also } a = \sqrt[3]{\frac{\int x^3 . \partial A}{A}}.$$

Ist die Ebene des Flügels ein Rechteck, und heiſst der Abstand ihrer nächsten Seite von der Umdrehungsaxe m, der entferntesten n, ihre Höhe h, so ist $A = h(n - m)$ und $\partial A = h . \partial x$, also ist

$$\frac{\int x^3 . \partial A}{A} = \frac{h . \int x^2 . \partial x}{h(n - m)} = \frac{x^4}{4(n - m)} + \text{Const.}$$

Da aber das Rechteck selbst und auch der Widerstand verschwindet, wenn $x = m$ wird, so ist

$$0 = \frac{m^4}{4(n - m)} + \text{Const., also Const.} = \frac{-m^4}{4(n - m)},$$

wonach

$$a = \sqrt[3]{\frac{n^4 - m^4}{4(n - m)}} = \sqrt[3]{\frac{(n^2 + m^2)\ (n + m)}{4}}.$$

Der Widerstand, welchen die Arme erleiden, so wie auch die Reibung wird am besten empirisch beseitigt. Bei den Versuchen stellt man daher die Scheiben in eine horizontale Lage, und richtet die Gewichte P so ein, dafs nach einiger Zeit die Maschine eine gewisse gleichbleibende Geschwindigkeit annimmt; sind dann die Flächen wieder vertical gestellt, so giebt das Gewicht W, welches man zulegen mufs, um eine gleiche Geschwindigkeit zu erzeugen, die Gröfse der Widerstandes. Die Vorsicht, welche bei einer geneigten Stellung der Scheiben erfordert wird, damit die Reibung weder vermehrt noch vermindert werde, ist bereits angegeben worden; will man aber anders gestaltete Körper untersuchen, so müssen zur Ermittelung der Gröfse P statt ihrer Bleistücke, die mit ihnen gleiche Gewichte haben und nach ihrer Gestalt möglichst geringen Widerstand leiden, an den Armen befestigt werden. Heifst endlich der Halbmesser der Axe $= r$, und behält a die angegebene Bedeutung, so versteht sich von selbst, dafs der eigentliche Widerstand W′, welchen die vier Scheiben oder überhaupt die an den (mindestens und am zweckmäfsigsten zwei) Armen befestigten Körper erleiden, $W' = W\frac{r}{a}$ und die Geschwindigkeit in Secunden $= \frac{2a\pi}{t}$ sey, wenn t die zu einer Umdrehung erforderliche Zeit in Secunden bezeichnet.

7) Bei einer Reihe zahlreicher Versuche mit ruhendem Wasser betrug nach englischem Mafse der Halbmesser der Axe $r = 0{,}2117$ Zoll, die Oberfläche der 4 Scheiben von Weifsblech zusammen $A = 3{,}73$ Quadratzoll, der berechnete Abstand des Mittelpunctes des Widerstandes $a = 7{,}57$ Zoll und die Geschwindigkeit dieses Mittelpunctes $\frac{2a\pi}{t} = 0{,}66$ Fufs. Die erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, worin die erste Columne die Neigungswinkel der Bleche, die zweite die für W′ gefundenen Gewichte, die dritte die unter der Voraussetzung berechneten enthält, dafs der Widerstand der dritten Potenz des Sinus des Neigungswinkels proportional sey, die vierte endlich den aus den Versuchen

hervorgehenden Exponenten des Sinus des Neigungswinkels enthält. Wie diese Gröſsen gefunden wurden, ergiebt sich leicht. Für $\varphi = 90°$ ist $\text{Sin.}\,\varphi^m = 1$ und $W' = 0{,}2321$, mithin ist $1 : \text{Sin.}\,\varphi^m = 0{,}2311 : W'$, und demnach

$$\text{Log.}\,m = \frac{\text{Log.}\,W' - \text{Log.}\,0{,}2321}{\text{Log.}\,\text{Sin.}\,\varphi}.$$

Aus den für m gefundenen Werthen ergiebt sich, daſs der Widerstand keiner gleichbleibenden Potenz des Sinus oder des Cosinus des Neigungswinkels gleich ist.

Widerstand in Unzen.

Winkel	Versuch	Theorie	Werth von m
10°	0,0112	0,0012	1,73
20	0,0364	0,0093	1,73
30	0,0769	0,0290	1,54
40	0,1174	0,0616	1,54
50	0,1552	0,1043	1,51
60	0,1902	0,1476	1,38
70	0,2125	0,1926	1,42
80	0,2237	0,2217	1,41
90	0,2321	0,2321	

Der Theorie nach soll ferner der Widerstand dem Gewichte einer Wassersäule von der gegebenen Basis und derjenigen Höhe gleich seyn, welche als Fallhöhe die vorhandene Geschwindigkeit giebt. Im vorliegenden Falle beträgt die Höhe für 0,66 Fuſs Geschwindigkeit 0,08124 Zoll und das Gewicht bei einer Fläche der Flügel von 3,73 Quadratzoll 0,1598 Unzen. Da die Versuche 0,2321 Unzen Widerstand geben, so verhält sich der durch Erfahrung gefundene Widerstand zu dem theoretisch berechneten wie $0{,}2321 : 0{,}1598 = 1{,}4524\ldots : 1$ oder nahe wie $3:2$.

8) Eine folgende Versuchsreihe wurde mit zwei an den Armen befestigten Halbkugeln angestellt, deren ebene Flächen vorangingen. Ihr Durchmesser betrug 1,1 Zoll, der Abstand der Mittelpuncte des Widerstandes von der Drehungsaxe 6,22 Zoll, die Geschwindigkeit 0,542 Fuſs. Der Theorie nach müſste der Widerstand 0,05496 Unzen betragen, die Versuche gaben 0,08339 Unzen, und beider Verhältniſs war also

0,08339:0,05496 = 1,5172...:1 oder gleichfalls nahe = 3:2. Als darauf die Halbkugeln so gestellt wurden, daſs ihre convexen Flächen vorangingen, betrug der Widerstand nur 0,034 Unzen; beider Verhältniſs ist daher 0,08339:0,034 = 2,4526...:1, und das Verhältniſs des durch Erfahrung gefundenen zu dem für die Durchschnittsfläche der Halbkugel theoretisch berechneten = 0,034:0,05496 = 0,6186:1. Es wurden darauf zwei Cylinder von gleichen Grundflächen und gleichen Gewichten als die Halbkugeln auf die Arme gesteckt, und ihr Widerstand ergab sich = 0,07998 Unzen. Der Widerstand gegen eine Halbkugel, mit ihrer ebenen Fläche voran, verhält sich also zu dem gegen einen Cylinder, beider Widerstandsflächen gleich genommen, wie 0,08339 : 0,07998 = 1,0426 : 1; der durch Versuche gefundene Widerstand aber verhielt sich zu dem theoretisch berechneten wie 0,07998 : 0,05496 = 1,4552 : 1. Daſs die Halbkugel, ihre ebene Fläche voran, einen gröſseren Widerstand erleidet, als ein Cylinder von gleicher Fläche, kann nach Vince nur in dem Rückstoſse der Flüssigkeit gegen die hintere Cylinderfläche ihren Grund haben. Eine Menge Versuche mit dieser Maschine ergaben, daſs der Widerstand der Gröſse der Oberfläche und den Quadraten der Geschwindigkeiten proportional sey[1]. Werden diese Sätze zur Vergleichung der verschiedenen erhaltenen Resultate unter einander benutzt, so war der Flächeninhalt der vier Flügel = 3,73 Quadratzoll und ihre Geschwindigkeit 0,66 Fuſs, ihr Widerstand aber = 0,2321 Unzen; die Flächen der beiden Cylinder aber betrugen 1,9 Quadratzoll und ihre Geschwindigkeit 0,542 Fuſs. Wir erhalten also die Proportion:

$$3{,}73 \cdot 0{,}66^2 : 1{,}9 \cdot 0{,}542^2 = 0{,}2321 : 0{,}07973.$$

Statt der letzteren Zahl ergaben die Versuche 0,07998 mit einem so geringen Unterschiede, daſs dieser innerhalb der Fehlergrenze liegt.

9) Den Widerstand gegen Kugeln hat Vince nicht unmittelbar durch Versuche bestimmt, er findet ihn aber auf fol-

---

1 Aus zahllosen andern, später zu erwähnenden Versuchen geht hervor, daſs beide Sätze nur für geringe Geschwindigkeiten und nicht sehr verschiedene Flächen genau richtig sind. Die Uebereinstimmung von Vince's Versuchen mit diesen Bestimmungen rührt also daher, weil er nur mit geringen Geschwindigkeiten und kleinen Flächen experimentirte.

gende Weise. Aus den für Cylinder und Halbkugeln gefundenen Gröfsen, wenn beiden ebene Flächen vorangehn, und aus dem Widerstande gegen die Halbkugel mit vorangehender convexer Fläche läfst sich der Widerstand gegen die Kugel finden. Jenes Verhältnifs ist = 0,07998 : 0,0833, und da der Widerstand gegen die Halbkugel = 0,034 ist, so giebt dieses 0,07998 : 0,08339 = 0,034 : Widerstand gegen die Kugel, welcher hiernach = 0,0354 wäre. Der Widerstand gegen die Kugel verhält sich also zum Widerstande gegen den Cylinder, wie 0,0354 : 0,07998 oder 1 : 2,23. Nach der Theorie soll er sich wie 1 : 2 oder wie 1,115 : 2,23 verhalten, und wäre hiernach also im Verhältnifs von 1,115 : 1 zu grofs. Es ist aber oben gezeigt worden, dafs der Widerstand nach der Theorie gegen den nach der Erfahrung im Verhältnifs von 0,1598 : 0,2321 zu grofs ist, und daher mufs er sich auch bei der Kugel zu dem bei der Fläche wie 1,115 × 0,1598 : 0,2321 oder wie 0,1782 : 0,2321, also beinahe wie 3 : 4 verhalten.

10) Vorzugsweise hat sich Robins[1] viele Mühe gegeben, den Widerstand der Luft, namentlich gegen Geschützkugeln, theils durch Theorie, theils durch Versuche zu bestimmen. Zu den letzteren wandte er anfangs das von ihm construirte *ballistische Pendel*[2] an und gelangte hiermit zu folgenden Resultaten:

a) Der Widerstand der Luft gegen Körper, die in ihr bewegt werden, ist innerhalb gewisser Grenzen dem Quadrate der Geschwindigkeit nahe proportional, ohne dafs man ihn jedoch nach Newton diesem genau proportional setzen kann.

b) Der Widerstand der Luft gegen eine 12pfündige eiserne Kanonenkugel, die sich mit 25 Fufs Geschwindigkeit in einer

---

1 New principles of Gunnery. Lond. 1742. Uebers. Neue Grundsätze der Artillerie u. s. w. mit vielen Anmerk. von L. Euler. Berlin 1745. Diese Uebersetzung wieder ins Engl. übersetzt von Hugh Brown mit Anmerk. 1774. 4. Einzelne Abhandlungen von ihm in Philos. Trans. 1743, 1746 u. 1747. Mathematical Works, published by Dr. James Wilson. 1761. II Voll. 8. Vergl. Hutton's Philos. and Math. Dictionary. Lond. 1815. 4. T. II. p. 316. Art. *Resistance*. Encyclopaedia metropolitana. Mixed Sciences. T. I. p. 350. Art. *Pneumatics*. Von P. Barlow. Hutton's Tracts. T. III. p. 252.

2 Vergl. Art. *Ballistik*. B. I. S. 714. Fig. 120.

Secunde bewegt, ist nicht geringer als 0,5 Unze Avoir-du-poids-Gewicht.

11) Um aber diese Gesetze fester zu begründen, construirte er einen Apparat, den er *Wirbelmaschine* (*whirling*
Fig. *machine*) nannte. Diese bestand aus einem oben mit einem
195. leichten hohlen Kegel versehenen messingnen Cylinder ABCDE, welcher sich zwischen Frictionsrollen so leicht bewegte, daſs die Reibung als verschwindend zu betrachten war. Aus dem unteren Theile der Kegels läuft der dünne hölzerne, flache, zur Vermeidung des Widerstandes zugeschärfte Arm GH aus, welcher an seinem Ende den zu bewegenden Körper P trägt und zum Verhindern des Umbeugens durch einen dünnen Messingdraht ab gesteift ist. Um den Messingcylinder wird eine feine seidene Schnur gewunden, welche über die an einer Wand befestigte Rolle L geführt an ihrem Ende das Gewicht M trägt. Dieses setzt bei seinem Herabfallen die Maschine mit dem gegen die Luft bewegten Körper in Bewegung, und da das Herabfallen mit beschleunigter Geschwindigkeit geschieht, so wächst auch die Geschwindigkeit des umgeschwungenen Körpers und somit der Widerstand des Mittels gegen denselben, bis letzterer der Beschleunigung gleich und die Gröſse der Bewegung constant wird, woraus sich dann die Gröſse des Widerstandes finden läſst. Bei den Versuchen wurde zuerst mit einem gegebenen Gewichte die Maschine zu einer gleichbleibenden Bewegung gebracht, was meistens nach fünf bis sechs Umdrehungen erfolgte, und aus der Zahl einer in gemessener Zeit erfolgenden Menge von Umdrehungen lieſs sich dann die Zeitdauer einer Umdrehung finden. Alsdann wurde der Körper P und das Gewicht M weggenommen und statt des letzteren ein leichteres angehangen, durch welches eine gleich schnelle Bewegung erfolgte. Letzteres Gewicht von M abgezogen giebt diejenige Gröſse an, welche erfordert wird, den Widerstand der Luft gegen den Körper P bei gegebener Geschwindigkeit zu bestimmen. Um eine weitere Correction zu vermeiden, ward an die Stelle des Körpers P ein Stück Blei von ihm gleichem Gewichte befestigt. Die Dimensionen dieser, auch später von andern gebrauchten Maschine waren folgende in englischem Maſse:

Durchmesser des messingnen Cylinders . . . . . 2,06 Zoll

Länge des Armes L von der Axe des Kegels bis zur Oberfläche der Kugel P	49,5 Zoll
Die hohle Kugel P, einer 12pfündigen Kanonenkugel gleichend, von Pappe mit geglättetem Papier bekleidet, hielt im Durchmesser	4,5 —
Mithin war der Radius des beschriebenen Kreises	51,75 —

Bei der Anwendung eines Gewichtes M von 0,5 Pfund wurde die Geschwindigkeit constant, und es erfolgten dann die ersten 10 Umdrehungen in 27,75 Sec.; die folgenden 10 in 27,5 und die letzten 10 in 27,5 Secunden, wonach die Bewegung für gleichförmig gelten konnte. Die Zeitmessung geschah mittelst mehrerer zum Anhalten eingerichteter Uhren (*stop watches*), deren verglichene Angaben selten um 0,5 Sec. differirten. Als das Gewicht M 3,25 ℔. betrug, erfolgten nach der Vollendung der ersten 10 Umdrehungen die nächsten 20 Umdrehungen in 21,5 Sec., und ein ganz gleiches Resultat gab eine zweite Versuchsreihe. Hierauf wurde die Kugel P durch ein Stück Blei von gleichem Gewichte ersetzt, und als das angehangene Gewicht M nur 1 ℔. betrug, erfolgten abermals die letzten 20 Umdrehungen nach 10 nicht gezählten in 19 Secunden. Es muſs sonach weniger als 1 ℔. für die Bewegung der Maschine abgezogen werden, und Robins nimmt daher 2,5 ℔. als die Gröſse an, welche den Widerstand gegen die Kugel überwand. Da aber der Radius des Cylinders nur $\frac{1}{50}$ des Halbmessers des durchlaufenen Kreises beträgt, die Geschwindigkeit aber nahe 25 Fuſs in 1 Secunde, so folgt, daſs der Widerstand gegen die Kugel bei dieser Geschwindigkeit nicht weniger als $\frac{1}{50}$ von 2,25 ℔. oder 36 Unzen beträgt, wodurch der zweite der oberen Sätze erwiesen ist. Bei den folgenden Versuchsreihen wurden Gewichte M angehangen, deren Gröſsen im Verhältniſs von 1:4:9:16 zunahmen. Die ersten 10 Umdrehungen wurden nicht gezählt, und es erfolgten dann bei

1	Pfund	20	Umdrehungen	in 54,5	Sec., also
		10	—	— 27,25	—
2	—	20	—	— 27,5	—
4,5	—	30	—	— 27,5	—
8	—	40	—	— 27,5	—.

Wenn also die Widerstände in dem Verhältnisse 1:4:9:16 zunehmen, so correspondiren die Geschwindigkeiten im Ver-

hältnifs 1:2:3:4, wonach also die Widerstände im quadratischen Verhältnisse der Geschwindigkeiten zunehmen.

12) Die meiste Mühe und den gröfsten Fleifs unter allen Uebrigen hat HUTTON[1] auf die Lösung dieses Problems verwandt. Dem von NEWTON aufgestellten Gesetze gemäfs, wonach der Widerstand der Dichtigkeit des Mittels und dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional seyn soll, giebt er folgende Darstellung. Heifst a die Fläche, v die Geschwindigkeit des bewegten Körpers, p das spec. Gewicht der Widerstand leistenden Flüssigkeit und g nach der älteren Bezeichnungsart der in einer Secunde durchlaufene Raum eines frei fallenden Körpers, so ist die der Geschwindigkeit v zugehörige Fallhöhe

Fig. 196. $=\frac{v^2}{4g}$ und der Widerstand $w=\frac{apv^2}{4g}$. Es sey dann CA die Bahn, worin der gegebene Körper sich bewegt, BEAD ein Schnitt durch denselben, EG eine Tangente, welche die verlängerte Axe in G schneidet, EF, ef zwei parallele, einander bis zum Verschwinden nahe Ordinaten, so ist, wenn man $CF=x$, $EF=y$, $BE=z$ setzt, der mit y beschriebene Kreis $=2y\pi$, das Differential der Fläche oder der mit Ee beschriebene Ring $=2y\pi.\partial z$ und der Widerstand gegen denselben $=\frac{pv^2}{4g}.\mathrm{Sin.}^3 G\times 2y\pi.\partial z$. Ist dann für eine Kugel $CA=r$, so ist $y=\sqrt{r^2-x^2}$, $\mathrm{Sin.}\,G=\frac{x}{r}$, und für $ae=\partial x$ ist $y.\partial z=r.\partial x$. Hieraus wird für den Widerstand w:

$$\partial w=\frac{\pi p v^2}{2g}.\frac{x^3}{r^3}\times r\partial x=\frac{\pi p v^2 x^3}{2gr^2}\partial x,$$

mithin ist, für die durch BE erzeugte sphärische Fläche

$$w=\frac{\pi p v^2 x^4}{8gr^2}.$$

Ist dann $x=r$, so wird der Widerstand gegen die Halbkugel:

$$w'=\frac{\pi p v^2 r^2}{8g}.$$

1 Course of Mathematics. Composed for the use of the Royal military Academy cet. 6th. ed. Lond. 1811. III T. 8. T. II. p. 365. Trans. of the Royal Soc. of Edinburgh. T. II. Vergl. Gren Journ. d. Phys. Th. VII. S. 289; ein kurzer Auszug.

13) Diese, dem aufgestellten Gesetze, wonach der Widerstand der Gröfse der Oberfläche und dem Quadrate der Geschwindigkeit direct proportional seyn soll, angemessene Formel vergleicht HUTTON[1] mit denjenigen Resultaten über den Widerstand der Luft gegen geschossene Kugeln, welche durch die Versuche in Woolwich erhalten wurden[2]. Wird hierbei in englischem Mafse g = 16 Fufs, der Durchmesser der angewandten Kugel = 2r = $\frac{1}{6}$ Fufs gesetzt und p (das Gewicht eines Kubikfufses Luft) = 1,2 Unze angenommen, welches HUTTON das mittlere spec. Gewicht der Luft nennt, so wird

$$w = \frac{9}{44000} v^2.$$

Die Berechnung und die Versuche mit Kugeln von 2 Zoll Durchmesser gaben folgende Resultate für die Geschwindigkeit in 1 Secunde nach englischen Fufsen und den Widerstand in Unzen zu $\frac{1}{16}$ engl. Pfund.

Geschwindigkeiten	w nach Versuchen	w nach Rechnung	Geschwindigkeiten	w nach Versuchen	w nach Rechnung
5 Fufs	0,006	0,005	600 Fufs	110,4	73,6
10 —	0,026	0,021	800 —	212,0	130,9
20 —	0,103	0,082	1000 —	362,1	204,6
30 —	0,237	0,184	1100 —	456,9	247,6
40 —	0,427	0,329	1200 —	564,4	294,6
50 —	0,676	0,511	1400 —	811,5	401,0
100 —	2,78	2,46	1600 —	1086,9	523,7
200 —	11,3	8,2	1800 —	1368,6	662,8
400 —	46,5	32,7	2000 —	1637,8	818,3

Die Unterschiede zwischen den durch Rechnung und Versuche gefundenen Werthen wachsen bis zu einer Geschwindigkeit von 1600 Fufs in 1 Secunde und nehmen dann wieder ab. HUTTON glaubt aber nach den Resultaten der Versuche annehmen zu können, dafs der Widerstand den Flächen allerdings proportional sey und nur etwa im Verhältnifs von 1:1,03 mit zunehmender Gröfse wachse[3]. Ist daher der Widerstand = w für eine Kugel vom Halbmesser = r gefunden, so ist er für eine andere vom Halbmesser = r':

1 Mathematical Tracts ed. 8vo T. III. p. 219.
2 Vergl. Art. *Ballistik*. Bd. I. S. 714.
3 Vergl. Art. *Wind*. §. 114.

$$w' = w \frac{r'^2}{r^2},$$

und wenn man die angenommene Correction aufnehmen wollte:

$$w' = w \frac{r'^2}{r^2}(1{,}03).$$

Ohne Rücksicht auf diese letztere Correction würde eine Kugel von 5,6 Zoll Durchmesser oder eine 24pfündige für 2000 Fuſs Geschwindigkeit schon einen Widerstand von nahe 800 ℔. erleiden.

14) Die Vergleichung der durch Rechnung und der durch Versuche gefundenen Gröſsen zeigt aber allzugroſse Unterschiede, als daſs man es für möglich halten sollte, beide in Einklang zu bringen, und da die Versuche als gültig anzusehn sind, so entwickelte Hutton[1] aus diesen eine zum Theil empirische Formel. Unter der Voraussetzung, daſs der Widerstand der Gröſse der Fläche und der Dichtigkeit der widerstehenden Flüssigkeit proportional, das Gesetz des Quadrates der Geschwindigkeit aber nicht in ganzer Strenge gültig sey, setzt er

$$w = \frac{\pi p r^2}{8g}(m v^2 + n v),$$

und sucht die Coefficienten m und n aus den Versuchen zu erhalten. Die für 500 Fuſs und für 1000 Fuſs Geschwindigkeit gefundenen Gröſsen geben in Pfunden Avoir-du-poids-Gewicht $m = 0{,}00002665$ und $n = -0{,}00665$, und wenn diese Werthe in der Gleichung substituirt werden, so zeigt die nachstehende Tabelle den Grad der Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Versuchen:

---

1 Tracts. T. III. p. 226.

Geschwindigkeiten	w nach Versuchen	w nach Rechnung	Geschwindigkeiten	w nach Versuchen	w nach Rechnung
100 Fufs	0,174	—0,133	1100 Fufs	28,56	27,86
200 —	0,709	+0,266	1200 —	35,27	33,26
300 —	1,612	1,200	1300 —	42,71	39,86
400 —	2,906	2,666	1400 —	50,72	46,66
500 —	4,650	4,666	1500 —	59,19	54,00
600 —	6,900	7,200	1600 —	67,93	61,86
700 —	9,750	10,206	1700 —	76,77	70,46
800 —	13,250	13,866	1800 —	85,54	79,20
900 —	17,519	18,000	1900 —	94,11	88,66
1000 —	22,625	22,666	2000 —	102,36	98,66

Die berechneten Werthe weichen von den durch Versuche gefundenen für Geschwindigkeiten bis zu 200 Fufs in der Secunde so bedeutend ab, dafs hierfür auf jeden Fall die Formel nicht genügen kann. HUTTON schlägt daher vor, hierfür

$$w = \frac{\pi p r^2}{8g} . 0,0000176 v^2$$

zu setzen, wodurch die Uebereinstimmung sehr genau wird. Um aber auch für die übrigen Geschwindigkeiten die Unterschiede zwischen den Resultaten der Rechnungen und Versuche zu vermindern, bringt er die Formel

$$w = \frac{\pi p r^2}{8g} (m v^2 + n v + q)$$

in Vorschlag, und bestimmt die hierin befindlichen Coefficienten aus den für 600 Fufs, 1200 F. und 1800 F. durch Versuche gefundenen Widerständen, wonach $m = 0,00003028$; $n = -0,0071666\ldots$ und $q = 0,3$ wird, was dann folgende Werthe giebt.

Geschwindigkeiten	w nach Versuchen	w nach Rechnung	Geschwindigkeiten	w nach Versuchen	w nach Rechnung
100 Fufs	0,17	—0,11	1100 Fufs	28,56	29,06
200 —	0,71	+0,08	1200 —	35,28	35,30
300 —	1,61	0,88	1300 —	42,71	42,15
400 —	2,91	2,29	1400 —	50,72	49,62
500 —	4,65	4,29	1500 —	59,19	57,69
600 —	6,90	6,90	1600 —	67,93	66,36
700 —	9,75	10,12	1700 —	76,78	75,63
800 —	13,25	13,95	1800 —	85,54	85,52
900 —	17,52	18,38	1900 —	94,11	95,99
1000 —	22,63	23,41	2000 —	102,36	107,09

Wie grofs der Widerstand der Luft gegen schnell bewegte Körper sey, macht Hutton[1] anschaulich, indem er berechnet, dafs eine 24pfündige Kugel, welche mit 1780 Fufs Geschwindigkeit sich zu bewegen anfängt, schon nach zurückgelegten 280 Fufs auf 1500, und nach 1000 Fufs auf 1370 dadurch zurückgebracht werde.

15) Aus dem bisher Mitgetheilten geht genügend hervor, dafs die Theorie mit der Erfahrung keineswegs in gehöriger Uebereinstimmung sey, nicht zu gedenken, dafs die Aufsuchung mehrerer empirischer Formeln für ungleiche Geschwindigkeiten schon an sich nicht genügend befriedigend seyn kann. Hutton selbst scheint dieses gefühlt zu haben, noch bestimmter aber überzeugte er sich, dafs die angewandten Mittel zur empirischen Auffindung des Widerstandes der Luft für Geschwindigkeiten unter 300 Fufs in 1 Sec. sich nicht eigneten. Daher entschlofs er sich zu einer Reihe neuer Versuche[2], wozu er die nämliche Maschine anwandte, deren sich Robins bedient hatte, die aber mit ausnehmender Genauigkeit und Eleganz durch Ellicot ausgeführt wurde und noch in der Königl. Militärakademie vorhanden ist. Heifst nach den oben für diese Maschine angegebenen Bestimmungen das Gewicht, welches

1 Tracts. T. III. p. 252.

2 Tracts. T. III. p. 169. Die sämmtlichen Resultate dieser vielen Versuchsreihen findet man vollständig angegeben von Barlow in Encyclop. Metropol. Mixed Sc. T. I. p. 351. Es würde aber zu weitläuftig seyn, diese alle hier aufzunehmen.

bei der Beschwerung des Armes mit der Kugel P eine gewisse Menge Umläufe in einer gegebenen Zeit hervorbringt, M, dasjenige Gewicht aber, welches nach Wegnahme der Kugel P eine gleiche Menge Umläufe in der nämlichen Zeit hervorbringt, M', so ist der Widerstand

$$w = \frac{M - M'}{M}$$

in Gewichten. Oder da die Umläufe in gleichen Zeiten sich verhalten wie die Gewichte, so ist

$$w = M \frac{n'}{n}$$

der Widerstand des Körpers P, wenn n die Zahl der Umläufe des Armes ohne den Körper P und n' die Zahl der Umläufe mit dem Körper P, beide in gleichen Zeiten, bezeichnen. Hutton stellte diese Versuche in den Jahren 1786 und 1787 nicht bloſs mit Kugeln an, sondern auch mit anders gestalteten Körpern, und verwandte auf dieselben weit mehr Sorgfalt rücksichtlich der Messung der Zeit und der Bestimmung der Gewichte sowohl, als auch der Dimensionen der angewandten Körper. Es wird für unseren Zweck genügen, die allseitig corrigirten endlichen Resultate der gesammten Versuche mit verschieden gestalteten Körpern und bei ungleichen Geschwindigkeiten in folgender Tabelle übersichtlich zusammenzustellen, worin v die Geschwindigkeiten in 1 Sec. mittlerer Sonnenzeit nach engl. Fuſs und w den Widerstand in Unzen Avoir-dupoids-Gewicht bezeichnen.

Gröſse des Widerstandes = w gegen

v	Cylinder	Kegel Spitze voran	Kegel Basis voran	Kugel	Halbkugel ebene Fläche	Halbkugel runde Fläche	Kleine Halbkugel Fläche.
3	0,050	0,028	0,064	0,027	0,051	0,020	0,028
4	0,090	0,048	0,109	0,047	0,096	0,039	0,048
5	0,143	0,071	0,162	0,068	0,148	0,063	0,072
6	0,205	0,098	0,225	0,094	0,211	0,092	0,103
7	0,278	0,129	0,298	0,125	0,284	0,123	0,141
8	0,360	0,168	0,382	0,162	0,368	0,160	0,184
9	0,456	0,211	0,478	0,205	0,464	0,199	0,233
10	0,565	0,260	0,587	0,255	0,573	0,242	0,287
11	0,688	0,315	0,712	0,310	0,698	0,297	0,349
12	0,826	0,376	0,850	0,370	0,836	0,347	0,418
13	0,979	0,440	1,000	0,435	0,988	0,409	0,492
14	1,145	0,512	1,166	0,505	1,154	0,478	0,573
15	1,327	0,589	1,346	0,581	1,336	0,552	0,661
16	1,526	0,673	1,546	0,663	1,538	0,634	0,754
17	1,745	0,762	1,763	0,752	1,757	0,722	0,853
18	1,986	0,858	2,002	0,848	1,998	0,818	0,959
19	2,246	0,959	2,260	0,949	2,258	0,922	1,073
20	2,528	1,069	2,540	1,057	2,542	1,038	1,196

Hierbei ist noch Folgendes zu bemerken:

a) Der mittlere Stand des Barometers war 30,1 Zoll englisch, das Thermometer zeigte 62° F. (16°,67 C.), für welche Gröſsen das Gewicht eines engl. Kubikfuſses Luft zu nahe 1,2 Unze angenommen wird.

b) Die Fläche der kleinen Halbkugel betrug $\frac{1}{8}$ Quadratfuſs, die geraden Flächen oder Kreisflächen des Cylinders, des Kegels, der Kugel und der Halbkugel betrugen $\frac{2}{9}$ Quadratfuſs.

c) Die Höhe des Kegels betrug $6\frac{5}{8}$ Zoll, der Durchmesser der Basis $6\frac{3}{8}$ Zoll, und also die Neigung seiner Seite gegen die Axe 25° 42′.

16) Aus den durch die Versuche gefundenen Gröſsen entnimmt Hutton folgende allgemeine Resultate:

a) Der Widerstand ist den Flächen direct proportional, und wächst nur um eine Kleinigkeit bei gröſseren Flächen, insbesondere bei zunehmenden Geschwindigkeiten. Es geht dieses deutlich aus der Vergleichung der 6ten und 8ten Columne

hervor, aus welcher sich das Verhältnifs 8:7 ergiebt. Ist daher der Widerstand W gegen eine gröfsere Fläche F bekannt, oder der Widerstand w gegen eine kleinere Fläche f, so ist $W = \frac{8}{7} w \frac{F}{f}$ und $w = \frac{7}{8} W \frac{f}{F}$.

b) Der Widerstand bei gleichen Flächen und ungleichen Geschwindigkeiten ist für geringere Geschwindigkeiten dem Quadrate der letzteren nahe genau proportional, wächst aber bei gröfseren auf eine höhere, mit der Geschwindigkeit zunehmende Potenz. Im Mittel für nicht zu grofse Geschwindigkeiten, etwa von 1 bis 100 Fufs, läfst sich für die Geschwindigkeiten v und v' der Widerstand $W = w \left(\frac{v}{v'}\right)^{2,04}$ und $w = W \left(\frac{v'}{v}\right)^{2,04}$ annehmen.

c) Kugelflächen erleiden weniger Widerstand, als konische.

d) Der Widerstand wird auch, obgleich nicht bedeutend, durch die hintere Seite der Körper bedingt, wahrscheinlich wegen des Druckes der dagegen zurückströmenden Luft. Hieraus ist die Ungleichheit des Widerstandes gegen Körper erklärlich, welche gegen gleich grofse Luftsäulen bewegt werden.

e) Die Basis der widerstehenden Luft wird durch die Form des in ihr bewegten Körpers gegeben. Fragt man nach der Höhe einer Luftsäule von dieser Basis, deren Gewicht dem Widerstande für eine gegebene Geschwindigkeit gleich ist, so läfst sich diese auf folgende Weise finden. Es sey

die Fläche des bewegten Körpers . . = a,
der Widerstand (nach der Tabelle) . . = w,
die Höhe der Luftsäule (von der Basis a) = x,

so ist ax der Inhalt der Luftsäule, und da (nach a) das Gewicht eines Kubikfufses Luft 1,2 Unze beträgt, so ist 1,2 . ax das Gewicht der Luftsäule in Unzen. Es ist aber $1,2 . ax = w$ und daher $x = \frac{w}{1,2 . a}$ ihre Höhe in engl. Fufs, welches insofern für Flächen von verschiedener Gröfse gelten kann, als der Widerstand den Flächen nahe genau proportional angenommen wird. Wenn ferner, wie in der Tabelle, $a = \frac{2}{9}$

Fuſs ist, so wird $x = \frac{90}{24} w = \frac{15}{4} w$, wobei w für den bestimmten Körper aus der Tabelle entnommen werden kann. Wird z. B. diese Höhe für eine Halbkugel, wie in der Tabelle, bei einer Geschwindigkeit von 16 Fuſs gesucht, so ist w dort $= 0{,}634$ und also $x = 2{,}3775$ Fuſs die Höhe einer Luftsäule, deren Gewicht dem gegebenen Widerstande gleich wäre.

f) Sucht man die Geschwindigkeit einer Kugel, die erfordert wird, um einen Widerstand zu leiden, welcher dem Gewichte einer Luftsäule von der Höhe der ganzen Atmosphäre gleich ist, so fand sich der Widerstand bei 3 Fuſs Geschwindigkeit für eine Kugel von $\frac{2}{9}$ Quadratfuſs Fläche ihres gröſsten Kreises $= 0{,}027$ Unzen, und diesemnach, da der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional gesetzt werden kann, für 1 Fuſs Geschwindigkeit $= \frac{0{,}027}{3^2} = \frac{1}{9} \cdot 0{,}027 = 0{,}003$ Unze. Beträgt dann das Gewicht eines Kubikfuſses Quecksilber 13600 Unzen, so ist der Druck der Atmosphäre bei 30 engl. Zoll oder 2,5 Fuſs Barometerhöhe gegen die gegebene Fläche

$$2{,}5 \times 13600 \times \tfrac{2}{9} = 7555\tfrac{5}{9} \text{ Unzen.}$$

Aus dem Verhältniſs $\sqrt{0{,}003} : \sqrt{7566} = 1 : x$ wird aber $x = 1567$ Fuſs als diejenige Geschwindigkeit gefunden, bei welcher nach der obigen Angabe das Verhältniſs der Unterschiede der Widerstände für gröſsere Geschwindigkeiten wieder abnimmt.

g) Indem eine Kugel von der Gröſse derjenigen, die zu den Versuchen diente ($6\frac{3}{8}$ Zoll Durchmesser), bei 16 Fuſs Geschwindigkeit schon 0,663 Unze Widerstand erlitt, so muſs eine 36 Pfünder-Kugel, welche die nämliche Gröſse hat, bei 1600 Fuſs Geschwindigkeit schon einen Widerstand von 417 ℔. erleiden, wenn man diesen den Quadraten der Geschwindigkeit proportional setzt. Indem aber bei dieser Geschwindigkeit hinter der Kugel ein leerer Raum entsteht, weil die Luft unter gewöhnlichem atmosphärischen Drucke nicht so schnell in ein Vacuum einströmt[1], so kommt der Luftdruck der Atmosphäre

1 Vergl. Art. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 593. Bei der Vergleichung muſs auf den Unterschied des hier genommenen englischen und des dort gewählten Parises Fuſses Rücksicht genommen werden.

mit 487 ℔ hinzu [1], woraus ein Widerstand von mehr als 900 ℔. entsteht.

h) Wenn eine gegen ie ruhende Luft in horizontaler Richtung bewegte Fläche einen beliebigen Winkel gegen die Bahn ihrer Bewegung bildet, so ist der Widerstand am stärksten für 90° und verschwindet oder wird = 0 für 0°. Nach HUTTON's Versuchen erleidet eine Fläche von $\frac{2}{9}$ Quadratfuſs bei 12 Fuſs Geschwindigkeit in 1 Secunde und einem Neigungswinkel = α einen Widerstand

$$w' = 0{,}841 \text{ Sin.}\,\alpha^{1{,}842 \text{ Cos.}\,\alpha} \text{ in Unzen.}$$

Nimmt man diese Fläche und Geschwindigkeit als Einheit an, und setzt man in Gemäſsheit der oben gefundenen Gesetze voraus, daſs der Widerstand den Flächen im einfachen, den Geschwindigkeiten aber im oben näher bezeichneten, etwas mehr als quadratischen Verhältnisse proportional sey, so hat man allgemein für eine Fläche = a, eine Geschwindigkeit = v und einen Neigungswinkel = α den Widerstand w':

$$w' = \left(v^{2{,}04} . a \times 0{,}841\right) \text{Sin.}\,\alpha^{1{,}842 \text{ Cos.}\,\alpha}$$

in Unzen Avoir-du-poids-Gewicht.

17) Mit Wasser hat HUTTON keine Versuche angestellt; er nimmt aber an, daſs hierfür die nämliche Formel gelten könne, wenn man nur den Unterschied der Dichtigkeiten beider Flüssigkeiten berücksichtige. Nach seiner Bestimmung ist das Verhältniſs der Dichtigkeiten beider Flüssigkeiten = 1:780, und dann wird der Widerstand für Wasser w'' mit Beibehaltung der nämlichen Bezeichnungen:

$$w'' = \left(v^{2{,}04} . a \times 656\right) \text{Sin.}\,\alpha^{1{,}842 \text{ Cos.}\,\alpha}$$

in Unzen Avoir-du-poids-Gewicht.

18) Es läſst sich nicht in Abrede stellen, daſs dieser Beitrag zur Aufklärung eines der schwierigsten Probleme im ganzen Gebiete der angewandten Mechanik von groſsem Werthe sey; dennoch aber sind die Mathematiker nicht zu der Ueberzeugung gelangt, daſs dasselbe dadurch vollständige Erledigung

1 Diese Voraussetzung kann schwerlich für genügend begründet gelten. Vergl. §. 50.

gefunden habe. Barlow[1] bemerkt aufserdem, dafs der hier gefundene allgemeine Ausdruck

$$w = av^{m} \text{ Sin.}x^{n \text{ Cos.} x}$$

sehr unbequem sey, insbesondere wenn man den gröfsten Effect des Windes gegen ein Segel oder die Flügel einer Windmühle suche, was selbst auch dann noch statt finde, wenn man $m = 2$ annehme. Nach seiner Ansicht sind aufserdem accurate Versuche den gelehrtesten theoretischen Untersuchungen vorzuziehn, was auch ein jeder gern zugestehn wird, sobald er nur die vielfachen und schwer theoretisch zu bestimmenden Bedingungen berücksichtigt, welche bei diesen sehr zusammengesetzten Erscheinungen in Betrachtung kommen. Von grofsem Werthe sind daher die Versuche des geschickten Experimentators John Smeaton[2], welche zwar zunächst bestimmt waren, die beste Neigung der Windmühlenflügel aufzufinden, aber dennoch hier erwähnt werden können, weil sie sich zugleich auf den Widerstand der flüssigen Medien überhaupt beziehn, und mit einer Maschine angestellt wurden, die der zuletzt beschriebenen sehr
Fig. ähnlich ist. Sie besteht aus einem pyramidalischen Gestelle
197. ABC, welches dazu dient, die beweglichen Theile zu tragen. In diesem geht die bewegliche verticale Axe DE herab, auf welcher der Arm FG befestigt ist, welcher dazu dient, die Flügel in einem schicklichen Abstande vom Centrum der Umdrehung zu tragen. Die Axe ist mit einem befestigten Cylinder versehn, und um diesen eine Schnur Z gewunden, um durch Anziehn derselben mit der Hand den Apparat in Umschwung zu versetzen, wobei der Mittelpunct der Flügel einen Kreis mit dem Halbmesser DI beschreibt, indem die in verschiedenen Winkeln gegen ihre Bahn gerichteten Flügel durch den Widerstand der Luft um ihre horizontale Axe umgedreht werden. Von L geht eine feine Schnur herab, unter der Rolle M, über die Rolle N und unter der Rolle O hin zu der Axe der Windmühlenflügel, um welche sie gewunden ist, und durch Hebung des Gewichtes P ein Mafs der Kraft giebt, womit die Flügel sich umdrehn, welche nebst ihrem Arme durch das Ge-

---

1 Encyclop. metrop. Mixed Sciences. T. I. p. 360.

2 Philos. Trans. 1759. p. 100. Besonders abgedruckt: On the powers of wind and water. 8. Vergl. Philos. Trans. abridged by Hutton. T. XI. p. 360.

gengewicht W genau balancirt sind. An dem Gestelle war ein in der Zeichnung weggelassenes Pendel angebracht, aus zwei an einer hölzernen Stange oben und unten befestigten Bleikugeln bestehend, dessen dem *Metronome* ähnliche Einrichtung Schwingungen in jeder beliebigen Zeit gestattete. Die Schnur N wurde dann mit der Hand gerade so stark gezogen, daſs das Pendel zwei Schwingungen während einer Umdrehung der Maschine vollendete. Die Flügel bildeten einen Winkel von 55° mit der Axe, dessen Ergänzung von 35° den Neigungswinkel gegen die lothrecht durch ihre Bahn gelegte Ebene giebt, welches nach Parent die geeignetste Richtung seyn soll. Endlich verdient nur noch erwähnt zu werden, daſs das Gewicht P so lange vergröſsert wurde, bis es hinreichte, die mit einer gewissen Geschwindigkeit bewegten Flügel zum Stillstande zu bringen. Auch hierbei findet übrigens der allgemeine Satz der praktischen Mechanik Anwendung, daſs der Nutzeffect eine zusammengesetzte Function der Geschwindigkeit und der Gröſse der bewegenden Kraft ist.

19) Es wird nicht erforderlich seyn, die aus den einzelnen Versuchen gefundenen Gröſsen ausführlich zu beschreiben, vielmehr begnüge ich mich, nur die allgemeinen Resultate anzugeben.

a) Die Geschwindigkeit des Umlaufens der Windmühlenflügel, sie mochten frei oder mit einem Gewichte so beschwert seyn, daſs sie ein Maximum des Effectes gaben, verhält sich bei der nämlichen Construction wie die Geschwindigkeit des Windes.

b) Bei gleicher Gestalt und Richtung der Flügel verhalten sich die Gewichte für das Maximum des Effectes nahe, aber etwas weniger, wie die Quadrate der Geschwindigkeiten des Windes.

c) Die Effecte der nämlichen Flügel im Maximum verhalten sich nahe, aber etwas weniger, wie die Kubi der Geschwindigkeiten des Windes.

d) Die Gewichte für das Maximum bei den nämlichen Flügeln verhalten sich nahe wie die Quadrate, und ihre Effecte nahe wie die Kubi ihrer Umdrehungen.

e) Wenn die Flügel mit einem Gewichte beladen sind, so daſs sie bei einer gegebenen Geschwindigkeit ein Maximum erzeugen, und die Geschwindigkeit des Windes zunimmt, wäh-

rend das Gewicht unverändert bleibt, so wächst der Effect im quadratischen Verhältniſs der Zunahme der Geschwindigkeit des Windes. Steigt letztere auf das Doppelte, so wächst der Effect im Verhältniſs von 10:27,5. Steigt aber die Geschwindigkeit des Windes über das Doppelte, so wächst der Effect nahe in gleichem Verhältniſs.

f) Bei Flügeln von der nämlichen Gestalt und Richtung ist die Zahl ihrer Umdrehungen bei gleicher Geschwindigkeit des Windes ihrer Länge umgekehrt proportional.

g) Die Gewichte für das Maximum des Effectes, welche Flügel von der nämlichen Gestalt und Richtung zu heben vermögen, verhalten sich wie die Kubi der Abstände der Flügel von der Umdrehungsaxe.

h) Die Effecte der Flügel von gleicher Gröſse und Richtung verhalten sich wie die Quadrate dieser Abstände.

i) Die Geschwindigkeiten der äuſsersten Enden der Windmühlenflügel bei der gebräuchlichen Gröſse und Stellung, wenn sie unbelastet oder auch wenn sie für das Maximum des Effectes belastet sind, sind allezeit gröſser als die des Windes.

20) Man ersieht aus dieser Darstellung, daſs sich aus diesen Versuchen nur auf indirecte Weise einige Resultate zur Bestimmung des Widerstandes entnehmen lassen. Eben dieses ist der Fall bei denen, welche Edgeworth[1] zunächst in der Absicht anstellte, um die geeignetste Form der Segel aufzufinden. Hierzu bedient er sich einer ähnlichen Wirbelmaschine, als welche Robins gebraucht hatte, und erhielt damit im Wesentlichen folgende Resultate. Die Umdrehung des Armes für sich, ohne Anwendung einer gegen die Luft bewegten, Widerstand leistenden Fläche, erforderte für die stets beibehaltene normale Geschwindigkeit 40 Unzen, die also stets abzuziehn sind, wenn man die Stärke des Widerstandes allein finden will. Wurde auf den Arm ein Parallelogramm von 9 und 4 Zoll Seiten aufgesetzt, so betrug das Gewicht, wenn die längere Seite horizontal stand, 112 Unzen, wenn sie aber vertical gerichtet war, 121 Unzen[2]. Für eine Scheibe Weiſsblech, 4 Z. im Quadrat

---

1 Philos. Trans. 1783. T. LXXIII. p. 136. Vergl. T. Young's Lectures. T. II. p. 227.

2 Die Ursache dieses Unterschiedes ist räthselhaft, und dürfte nur daraus erklärbar seyn, daſs bei ihrem verticalen Stande eine Umdre-

grofs, betrug das Gewicht 80 Unzen, für eine andere von 8 Zoll im Quadrat 262 Unzen. War das erstere Parallelogramm zu einem Bogen von 8 Zoll Chorde gebogen, so erforderte die Bewegung, die kürzere Seite horizontal, 128 statt 121 Unzen, und war es zu 7,25 Zoll Chorde gebogen, sogar 133 Unzen. Werden diese Widerstände auf 1 Quadratzoll reducirt, so gaben

Flächen	Inhalt	Widerstand	Widerstand gegen 1 Quadratzoll
kleine quadrat. Fläche .	16 Zoll	40 Unzen	2,50 Unzen
grofse — —	64 —	222 —	3,47 —
Parallelogramm	36 —	81 —	2,25 —
gekrümmte Fläche. . .	32 —	88 —	2,69 —
stärker gekr. Fläche . .	29 —	93 —	3,21 —

Wenn hierbei der Unterschied zwischen der quadratischen und der oblongen Fläche als unbedeutend und durch Beobachtungsfehler herbeigeführt angenommen wird, so könnte hiernach geschlossen werden, dafs bei geraden Flächen die Gestalt gleichgültig sey; da aber der Inhalt des Parallelogramms ungleich gröfser war, als der des kleinen Quadrates, und der Widerstand mit der Gröfse der Flächen zunimmt, so folgt aus der Vergleichung nothwendig, dafs quadratische Flächen (vermuthlich auch runde, über welche leider nichts angegeben ist) den geringsten Widerstand erleiden. Wahrscheinlich darf man den Widerstand gegen gleich grofse Flächen der Gröfse des Umfanges umgekehrt proportional setzen. Dafs übrigens der Widerstand mit der Gröfse der Flächen in einem gröfseren Verhältnisse als dem ihres Inhalts zunehme, geht aus diesen Versuchen deutlich hervor; im vorliegenden Falle ist dieses Verhältnifs = 1 : 1,398. Auf gleiche Weise wächst der Widerstand, wenn die Luft in concaven Flächen verdichtet wird und weniger leicht abfliefsen kann, worauf Edgeworth den Schlufs gründet, dafs hohle

---

bung des Armes herbeigeführt und die Reibung vermehrt wurde. Befand sich in beiden Fällen das äufsere Ende der Scheibe in gleichem Abstande von der Umdrehungsaxe, so dürfte der Grund einfacher darin liegen, dafs sich beim verticalen Stande ein gröfserer Theil der Fläche in weiterer Entfernung vom Umdrehungspuncte befand, was nach Smeaton's 7tem Satze einen bedeutenden Unterschied macht.

Segel einen gröfseren Effect haben, um dessen Begründung es ihm zunächst zu thun war.

21) Eine ausführliche Untersuchung über den Widerstand der Mittel hat Robison[1] mitgetheilt; er äufsert aber am Ende sein Bedauern, dafs durch die vereinten Bemühungen der ersten Mathematiker Europa's dieses höchst interessante Problem der Mechanik keineswegs vollständig gelöst sey, ja dafs sich nicht einmal hoffen lasse, dasselbe jemals vollständig erledigt zu sehn. Es wird indefs nicht erforderlich seyn, dem gelehrten Britten in seinen Betrachtungen zu folgen, denn er giebt keine eigenen neuen Untersuchungen, sondern stellt blofs das ihm aus fremden Forschungen Bekanntgewordene zusammen, indem zugleich diese seine Ansicht hindernd im Wege steht, wonach er den Widerstand, welchen in flüssigen Medien bewegte Körper erleiden, der Kraft des Stofses gleich setzt, womit die mit gleicher Geschwindigkeit bewegten Flüssigkeiten feste Körper fortbewegen. Im Allgemeinen legt er Newton's Satz zum Grunde, wonach der Stofs oder der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional seyn soll. Heifst dann F die Kraft des geraden Impulses gegen eine gegebene Fläche, f die gegen eine gleich grofse in einem Winkel i gerichtete, so soll $f = F \, Sin.^2 i$ seyn, und wenn S die ganze Fläche in demjenigen Normalmafse bezeichnet, wofür F als Einheit bestimmt war, so ist $f = FS \, Sin.^2 i$. Dieses Theorem soll Pardies[2] zuerst aufgestellt haben. Robison leitet aus diesen Principien auf theoretischem Wege einige auf die Figuren der Körper bezügliche Bestimmungen ab, die ohne Mittheilung der einfachen Beweise hier Platz finden mögen. Der Widerstand gegen einen Cylinder oder die convexe Seite eines Halbcylinders beträgt $\frac{2}{3}$ des Widerstandes gegen die durch seine Axe gelegte Ebene. Der Widerstand gegen eine Kugel oder Halbkugel beträgt die Hälfte des Widerstandes gegen die Durchschnittsfläche durch das Centrum der Kugel oder gegen einen Cylinder von gleich grofsem Halbmesser. Zu diesen Sätzen fügt er noch den bekannten, wonach der Widerstand einer unelastischen Flüssigkeit gegen eine in gerader Richtung ihr entgegen bewegte Fläche einer

1 System of mechanical philosophy. Edinb. 1822. 4 T. 8. T. II. p. 261 bis 368.

2 In Oeuvres de Mathématiques. 1673.

Säule derselben von der gegebenen Basis und der doppelten Höhe, wovon herabfallend sie die gegebene Geschwindigkeit erhalten würde, gleich seyn soll.

Demnächst giebt Robison eine Uebersicht der zur Prüfung dieser Sätze angestellten Versuche, worüber bereits oben geredet worden ist[1], weswegen es genügt, hier nur die Namen derjenigen Gelehrten zu nennen, deren Bemühungen er berücksichtigt. Diese sind Newton, s'Gravesande, Dan. Bernoulli und sein Schüler Kraft, Robins, de Borda und die Mitglieder derjenigen Commission, welche von der Pariser Akademie ernannt wurde, um den Widerstand des Wassers zu ermitteln, nämlich Condorcet, d'Alembert, Bossut u. s. w. Aufser diesen erwähnt er noch Bouguer und Don George de Ulloa[2], im Ganzen übersieht man aber bald, dafs er sich hauptsächlich an die durch du Buat und Bossut über die Stärke des Wasserstofses angestellten Versuche gehalten hat, um hieraus die Gesetze des Widerstandes der Flüssigkeiten zu entwickeln, weil er von dem Satze ausging, dafs der Widerstand gegen eine ruhende Flüssigkeit der Stärke ihres Stofses gegen ruhende Körper, wenn sie selbst bewegt ist, gleich sey. Genau genommen, scheint ihm die durch Newton begründete Theorie des Widerstandes durch die Bemühungen aller nachfolgenden Gelehrten nur unbedeutend weiter gefördert worden zu seyn. Hiernach ist der Widerstand des Wassers etwas gröfser, als dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, was Newton von der Viscosität (Adhäsion) der Theilchen dieser Flüssigkeit ableitet. Der hieraus entstehende Theil des Widerstandes ist für alle Geschwindigkeiten constant, der übrigbleibende aber dem Quadrate der Geschwindigkeiten proportional, wie er durch seine Versuche mit Kugeln von wenig gröfserem specifischen Gewichte, als dem des Wassers, nachwies, die daher in dieser Flüssigkeit sehr langsam herabfielen. Bewegen sich Körper im Wasser in horizontaler Richtung, so hebt sich das Wasser vor

1 Vergl. aufserdem Art. *Wind*. §. 110.

2 Robison sagt: in Examine maritimo. Mir ist das Werk, worin dieser Gelehrte über den Widerstand der Mittel handelt, unbekannt; auch bedauert Robison, es nicht zu kennen, indem ihm blofs dasjenige bekannt sey, was Prony daraus entlehnt. S. dessen Architectura Hydraulica. §. 868. Ueb. von Langsdorf. Th. I. S. 418.

denselben und sinkt hinter ihnen, und der hierdurch entstehende hydrostatische Druck muſs nothwendig den wirklichen Widerstand vergröſsern. Auf gleiche Weise wird auch die Luft vor dem bewegten Körper zusammengedrückt und hinter ihm verdünnt; aus beiden Ursachen erwächst dann eine Zunahme des Widerstandes, welche nach Robins's Versuchen bei Kugeln von 1100 bis 1200 Fuſs Geschwindigkeit in 1 Sec. vorzugsweise merkbar zu werden beginnt. Newton entdeckte schon den merkwürdigen Umstand, welchen de Borda bestätigt fand (§. 5), daſs eine unmittelbar unter der Oberfläche des Wassers bewegte Kugel gröſseren Widerstand erleide, als in gröſserer Tiefe unter derselben. Das Gegentheil hiervon behauptet Don George de Ulloa, welcher für den Widerstand gegen ein Bret von 1 Fuſs Breite, bis zu 1 F. Tiefe in einen Wasserstrom von 2 F. Geschwindigkeit eingetaucht, 15,5 ℔., wenn es aber 2 F. tief eingetaucht war (also 2 Quadratfuſs Fläche entgegenstellte), bei 1½ F. Geschwindigkeit 26,25 ℔. fand[1].

22) Der zweite von Newton aufgestellte, gleichsam aus der Natur der Sache von selbst hervorgehende Hauptsatz, wonach der Widerstand der Gröſse der Fläche direct proportional seyn soll, wird auch von Robison als nahe richtig angenommen, doch verkennt er nicht, daſs die Erfahrung bedeutende Abweichungen davon zeigt. Hierüber führt er bloſs die Resultate der Versuche de Borda's an, welcher für zunehmende Flächen folgende wachsende Gröſsen erhielt:

Flächen	Widerstände	Unterschiede	Verhältniſs
9 Zoll	9,000	0,000	1 : 1,000
16 —	17,535	1,535	1 : 1,084
36 —	42,750	6,750	1 : 1,187
81 —	104,737	23,737	1 : 1,293

Die Reihe ist zu kurz, als daſs man aus dieser, und obendrein

1 Der Versuch ist keineswegs so rein und entscheidend, als die obigen sind. Auf eine nähere Untersuchung der Einwürfe, welche Robison gegen Ulloa's Theorie aufstellt, und ihre Widerlegung durch Watts in Edinb. Philos. Journ. N. VIII. p. 315. können wir hier nicht eingehn.

aus dieser allein, das Gesetz der Zunahme des Widerstandes für wachsende Flächen entnehmen dürfte.

23) Gegen den theoretisch angenommenen Satz, wonach der Widerstand dem Quadrate des Sinus des Einfallswinkels proportional seyn soll, erklärt sich Robison auf das bestimmteste. Weil diese Aufgabe in Beziehung auf die geeignetste Form des Vordertheils der Schiffe von gröſster Wichtigkeit ist, so widmet er ihr eine ausführliche Untersuchung. Um die Resultate der hierüber angestellten Versuche zu prüfen, wird zuerst erfordert, die *Gröſse des Widerstandes bei perpendiculärer Richtung der Flüssigkeit* gegen eine gerade Fläche zu bestimmen; allein die hierfür aus der Erfahrung gefundenen Gröſsen weichen sehr bedeutend von einander ab. Die Commission der französischen Akademiker fand für eine Fläche von 1 Par. Quadratfuſs bei 2,56 Geschwindigkeit in 1 Sec. = 7,625 franz. ℔., du Buat aber für die nämliche bei 3 F. Geschwindigkeit 14,54 ℔., welches, durch den Quotienten von $2,56^2 : 3^2$ auf gleiche Geschwindigkeit reducirt, 9,53 ℔., von 7,625 bedeutend abweichend, giebt. Inzwischen sind die Resultate nicht genau vergleichbar, denn zu den ersten Versuchen diente ein Bret, zu den letzten ein 2 Fuſs langes Parallelepipedon von 1 Quadratfuſs Querschnittfläche. Bouguer fand den Widerstand des Seewassers gegen eine gleich groſse Fläche bei 1 Fuſs Geschwindigkeit nahe 23 Unzen, de Borda, wenn der Körper ein Würfel war, 21 Unzen, Ulloa gegen einen engl. Quadratfuſs bei 2 Fuſs Geschwindigkeit 15,25 ℔. engl. Im Ganzen, meint Robison, könne man den Widerstand bei perpendiculärer Richtung dem Gewichte einer Wassersäule von der gegebenen Fläche und der doppelten, der gegebenen Geschwindigkeit zugehörigen Fallhöhe gleich annehmen.

Bei weitem die besten, bis dahin bekannten Versuche über den Widerstand verschieden gestalteter und gerichteter Flächen in nächster Beziehung auf die beste Form des Vordertheils der Schiffe sind diejenigen, welche die obengenannte Commission aus den Mitgliedern der Akademie zu Paris anstellte[1]. Diese

1 Die erhaltenen Resultate finden sich in den hydraulischen Werken von du Buat, Bossut und in den später über diesen Gegenstand erschienenen ausführlicheren Schriften. Hier wird genügen, nur einige Hauptsachen mitzutheilen, die sich an die später zu erwähnenden Ar-

liefs 15 Boote bauen, welche 2 Fufs weit, 2 F. tief und 4 F. lang waren. Eins derselben war ein Parallelepipedon, welches also dem Wasser eine gerade Fläche in lothrechter Richtung entgegenstellte, die andern hatten keilförmige Vordertheile, deren Winkel von 12 zu 12 Graden von 12° bis 180° oder bis zu der geraden Fläche zunahmen, so dafs also die Richtungen der Flächen gegen die zu überwindende Flüssigkeit von 6 zu 6 Grad verschieden waren. Zur genaueren Uebersicht ist nur zu bemerken, dafs die Linien, welche den von 12 zu 12 Graden wachsenden Winkel ACB einschlossen, verschieden gestaltet waren. Alle diese Boote wurden 2 Fufs tief unter das Wasser in einem sehr weiten Bassin mittelst eines Seiles fortgezogen, welches über eine Rolle geschlungen am andern Ende ein veränderliches Gewicht trug, wobei die Geschwindigkeit nach einer kurzen Zeit zur ganz gleichförmigen überging. Der dann in genau abgemessener Zeit durchlaufene Weg betrug 96 Par. Fufs, und das hierzu erforderliche Gewicht gab, nach Abzug eines durch Schätzung bestimmten Theils für Ueberwindung der Adhäsion und der Aufstauung des Wassers am Vordertheile, den erlittenen Widerstand. In der folgenden Tabelle enthält für die aus diesen wiederholten Versuchen gefundenen Resultate die erste Columne den Neigungswinkel des Vordertheils, die zweite die nach der vorausgehenden Theorie, wonach der Widerstand dem Quadrate des Sinus des Einfallswinkels proportional seyn soll, berechneten Widerstände, die dritte die durch die Versuche gefundenen, und die vierte die Unterschiede beider, indem zugleich die sämmtlichen Gröfsen zur bequemeren Uebersicht auf 10000 reducirt sind.

Fig. 198.

---

beiten der für gleiche Zwecke vereinten schwedischen und englischen Gesellschaften anschliefsen.

	Widerstand		
Winkel	berechnet	Versuch	Unterschied
180°	10000	10000	0
168	9890	9893	3
156	9568	9578	10
144	9045	9084	39
132	8346	8446	100
120	7500	7710	210
108	6545	6925	380
96	5523	6148	625
84	4478	5433	955
72	3455	4800	1345
60	2500	4404	1904
48	1654	4240	2586
36	955	4142	3187
24	432	4063	3631
12	109	3999	3890

Die Resultate der Versuche weichen von den theoretisch gefundenen so bedeutend ab, daſs die Unterschiede unmöglich als Folgen von Beobachtungsfehlern gelten können, sondern die theoretischen Bestimmungen als ungenügend darstellen. Die Akademiker leiteten aus diesen Versuchen eine empirische Formel ab, wonach

$$p = P\,\mathrm{Cos.}^2 x + 3{,}153\left(\frac{x}{60^\circ}\right)^{3,25}$$

ist, worin x die Ergänzung des halben Winkels ACB, P den Widerstand gegen die gerade Fläche, p aber den gegen das den gegebenen Winkel bildende Vordertheil des Bootes bezeichnen. Für einen Winkel von 12° giebt diese Formel eine Abweichung von nicht mehr als 0,01 des Ganzen, für die übrigen noch geringere, und wir können sie daher als den Versuchen hinlänglich genügend betrachten. Robison bemerkt indeſs, daſs diese Formel zwar in dem Falle leicht anwendbar und bequem sey, wenn das Vordertheil aus geraden Flächen besteht, keineswegs aber, wenn diese gekrümmt sind, in welchem Falle obendrein die Berechnung sehr wenig mit der Erfahrung übereinstimmt, weil die Bewegung der Flüssigkeit durch den anfänglichen Stoſs bedeutend modificirt wird, und wir nicht annehmen dürfen, daſs das Vordertheil aus einer Zahl von Flächen zusammengesetzt sey, deren jede für sich genommen denjenigen Impuls er-

leide, welcher die ruhende Flüssigkeit durch die Bewegung des Körpers in der gegebenen Richtung gegen ihn ausüben würde. Um sich hiervon zu überzeugen, darf man nur die vielfachen Bewegungen berücksichtigen, welche namentlich von den Gebrüdern Weber als im Innern der Flüssigkeiten statt findend nachgewiesen worden sind, sobald diese irgend einen Stofs von aufsen erhalten haben[1].

24) Es giebt nur wenige physikalische Probleme, welche der ebenso gelehrte als fleifsige Thom. Young[2] unerörtert gelassen hat, und wir dürfen ihn daher auch bei dem vorliegenden nicht übergehn. Bei seinen Erläuterungen der allgemeinen mechanischen Principien äufsert er sich nur im Allgemeinen hierüber. Der Widerstand einer Flüssigkeit gegen einen in ihr bewegten Körper ist nach ihm dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, weil es nahe einerlei ist, ob der Körper sich gegen die Flüssigkeit oder diese sich gegen ihn bewegt, und die Höhe der Flüssigkeitssäule, welche hiernach als auf ihn stofsend gelten darf, dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional zunehmend gesetzt werden kann. Beim schiefen Stofse kann man den Widerstand nach seiner Ansicht auf die Zerlegung der Kräfte zurückführen, gelangt aber dadurch zu Resultaten, welche ungenügend sind, wenn man sie nicht mit den durch Versuche erhaltenen vergleicht. Dieses bezieht sich hauptsächlich auf die abweichenden Resultate, welche die Versuche mit schief gerichteten geraden und mit gekrümmten Flächen gegeben haben. Von diesen erwähnt Young die von de Borda, wonach sich der Widerstand gegen die Kugelfläche zu dem gegen die Kreisfläche, beide von gleichem Halbmesser, bei Luft wie 1:2,45 und bei Wasser wie 1:2,5 verhält. Hutton fand dieses Verhältnifs für Luft bei einer ganzen Kugel wie 1:2,33, bei der Halbkugel wie 1:1,45, wobei es Young auffallend und nicht wohl möglich findet, dafs der Widerstand gegen eine ganze Kugel geringer seyn sollte, als gegen eine Halbkugel, was jedoch in Folge des sogenannten Rückstofses der um den Körper sich bewegenden Flüssigkeit wohl erklärbar ist. Young erwähnt auch einige werthvolle Angaben über die

---

1 Vergl. Art. *Wellen.*

2 Course of Lectures on natural philosophy. Lond. 1807. II T. 4. T. II. p. 62 u. 228.

zur Ueberwindung des Widerstandes des Wassers geeignetste Form, die aus den Versuchen der *Gesellschaft für Schiffbaukunst* hervorgehn (§. 33), wonach die Gestalt der Fische hierfür am paſslichsten zu seyn scheint. Werden die für Seemeilen und ganze Stunden angegebenen Bestimmungen zu besserer Vergleichung auf französischen Fuſs und auf Secunden reducirt, so erzeugt eine Fläche von 46 Quadratfuſs, in der Richtung ihrer schmalen Seitenfläche bewegt, eine *Reibung*[1] von 0,563 ℔. bei 1,586 Fuſs Geschwindigkeit in 1 Sec., bei einer doppelt so groſsen von 3,172 F. 1,992 ℔., bei einer vierfachen von 6,344 Fuſs 6,642 ℔., bei einer sechsfachen von 9,516 Fuſs 12,839 ℔., bei einer achtfachen von 12,688 Fuſs 19,856 ℔. Zugleich zeigte sich nach diesen Versuchen der Widerstand stärker gegen durchnäſste als gegen trockne Breter, überhaupt aber schien der Widerstand im Verhältniſs = $v^{2,106}$ der Geschwindigkeit v zu wachsen. War der dem Wasser entgegenbewegte

Winkel	= 9°	44′ 10″,	so war der	Widerstand	=	30,67
—	= 14	28 40,	— —	—	=	35,34
—	= 19	28 15,	— —	—	=	41,71
—	= 30	. . . . ,	— —	—	=	51,44
—	= 90	. . . ,	— —	—	=	148,25.

Nach der Ansicht Young's[2] muſs man zur Auffindung des Widerstandes gegen Körper, welche an ihrer Vorderseite einen Winkel bilden, voraussetzen, daſs jedes Theilchen der Flüssigkeit einmal gegen die Fläche stöſst und sich dann für immer zurückzieht, in welchem Falle der Widerstand dem Cosinus des Einfallswinkel proportional seyn müſste. Ein anderer Theil des Widerstandes entsteht durch die Adhäsion und würde der Tangente dieses Winkels proportional seyn, ist aber sehr gering und verdient nur dann berücksichtigt zu werden, wenn man einen sehr genauen Ausdruck aufzufinden beabsichtigt. Ein dritter Theil hängt ab von der Beschaffenheit der Hinterfläche

1 Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daſs hier nicht bloſs die Reibung, sondern auch der Widerstand gegen die, wenn gleich nur schmale, Fläche zu überwinden war, denn nach andern Versuchen wächst die Stärke der Reibung oder Adhäsion mit der Geschwindigkeit nicht.

2 Vergl. Journ. of the Royal Inst. T. II. p. 14. 78.

des Körpers und von der Verschiedenheit der Bewegung, welche die auf die vordere Seite des Körpers stoſsenden Flüssigkeitstheile in Folge dieses Stoſses je nach der vorhandenen Gestalt der vorderen Fläche annehmen, insofern hierdurch die Stärke des sogenannten *negativen Widerstandes* modificirt wird. Alles dieses erwägend glaubt YOUNG, der Widerstand gegen geneigte Flächen = r' lasse sich durch folgende Formel ausdrücken, wenn r den Widerstand gegen die gerade Fläche und α den Neigungswinkel bezeichnet:

$$r' = \frac{0{,}2\,r + 0{,}04\,\text{Tang.}\,\alpha + 288\,\text{Cos.}^2\alpha}{360 + \alpha}.$$

Daſs der gerade Widerstand einer Flüssigkeitssäule von der gegebenen Basis und einer der Geschwindigkeit zugehörigen Fallhöhe gleich sey, wird hierbei als ausgemacht angenommen. Noch genauere Werthe soll eine andere, aus der Erfahrung entnommene Formel geben, wonach

$$r' = r\,\text{Cos.}^2\,\alpha + 0{,}0000004217\,\alpha^{3,18}$$

ist. Ob die bis dahin bekannt gewordenen Versuche genügten, die Genauigkeit dieser Formeln zu prüfen, die nur für Winkel bis zu 80° gültig seyn sollen, möge auf sich beruhn.

25) Ohne bei der vorhandenen überreichen Literatur auf Vollständigkeit Anspruch zu machen, und der Kürze wegen manche nicht unbedeutende Arbeiten übergehend, z. B. von EYTELWEIN[1], GERSTNER[2], ROMME[3], die theoretischen Untersuchungen über den Wasserstoſs von LA GRANGE[4], die sehr geschätzten Untersuchungen von DU BUAT[5] und BOSSUT[6], von XIMENES[7], ZULIANI[8], BRUNACCI[9], GIUSEPPE AVANZINI[10] und

1 Sammlung zur Baukunst. 1799.
2 Böhmische Abhandlungen 1795. Th. II.
3 Art de la Marine. Roch. 1787.
4 Mém. de Turin. 1784 u. 1785.
5 Principes d'hydraulique. 2me éd. Par. 1786. §. 440 ff.
6 Nouv. expériences sur la résistance des fluides. Par. 1777. Mém. de l'Acad. 1778.
7 Nuove sperienze idrauliche. Siena 1780.
8 Mem. dell' Accademia di Padova. T. III.
9 Società Italiana. T. XVII. Part. Mat. p. 79.
10 Saggio di Padova. T. IV. p. 96. Instituto nazionale Italiano. T. I. part. 1.

viele andere, insbesondere aber die gehaltreiche Bearbeitung dieser Aufgabe zunächst in Beziehung auf den Stofs und Widerstand des Wassers von Giuseppe Venturoli[1], ohne ferner auf die Untersuchung der Form derjenigen Körper einzugehn, die den *geringsten Widerstand* entgegensetzen, ein Problem, welches zuerst von Newton, später unter andern von l'Hopital[2], Craig[3], Bouguer[4], Legendre[5], Emerson[6] und verschiedenen Anderen[7] behandelt wurde, mögen die nachfolgenden Betrachtungen hier noch eine Stelle finden.

Zuerst dürfen Faraday's[8] Versuche nicht übergangen werden. Er bediente sich hierbei einer Maschine, mittelst deren eine Welle mit Flügeln in *verschiedenen Gasarten* durch eine Feder gleich stark in Bewegung gesetzt wurde, wobei dann die Bewegung so viel kürzere Zeit dauerte, je gröfser der Widerstand der im Gefäfse eingeschlossenen Luft war, der den Stillstand herbeiführte. Sie dauerte in kohlensaurem Gas 6 Sec.; in atmosphärischer Luft 8 Sec.; in Steinkohlengas 10 Sec. und in Wasserstoffgas 17 Secunden. Zwar geht hieraus der absolute Widerstand der Gase nicht hervor, wohl aber, dafs derselbe ihrer Dichtigkeit proportional sey.

26) Zu den bedeutendsten neuesten Untersuchungen über den Widerstand der Mittel gehören die von Tredgold. In einer früheren Abhandlung desselben[9] befinden sich blofs theoretische Betrachtungen, ohne Rücksicht auf die bereits vorhandenen zahlreichen Versuche. Zunächst bestreitet er den von Newton aufgestellten Satz, dafs der Widerstand, welcher eine homogene Flüssigkeit gegen einen in ihr bewegten Cylinder und eine Kugel, beide von gleichem Halbmesser, ausübt, sich

---

1 Elementi di Meccanica e d'Idraulica. Terz. ed. Milano 1818. 8. T. II. Lib. III. p. 168.

2 Mém. de l'Acad. de Par. 1699. p. 107. Hist. p. 95.

3 Philos. Trans. 1701. T. XXII. p. 746.

4 Mém. de l'Acad. 1733. p. 85. 1767. p. 504.

5 Ebendaselbst 1786. p. 21.

6 Papers on naval architecture. T. II. p. 39.

7 Vergl. über die ältere Literatur: Hutton math. and phil. Dictionary. T. II. p. 319.

8 Journ. of Sc. and Arts. T. III. p. 354. Ann. de Chim. et Phys. T. V. p. 300.

9 Philos. Magaz. T. LXVIII. p. 12 u. 113.

wie 2:1 verhalte, weil der Grund, worauf er beruht, nämlich dafs die Kraft, womit ein Theilchen einer gegebenen Fläche dem Stofse der Flüssigkeit zu widerstehn vermöge, dem Quadrate des Sinus des Neigungswinkels der Fläche gegen die Richtung der Bewegung proportional sey, als ungenügend er-
Fig. 199. scheine. Ist CD die in der Richtung AB mit gleichmäfsiger Geschwindigkeit bewegte Fläche, so ist AE der lothrechte Druck der Flüssigkeit gegen dieselbe, und der wirkliche Druck derselben gegen die Fläche mufs sich verhalten wie AE:AB, wonach also der Widerstand = AB:AE oder dem Sinus CAB proportional seyn wird. Insofern also der lothrechte Widerstand gegen eine schiefe Fläche in zwei Kräfte, diejenige, womit der Bewegung, und diejenige, womit dem Abgleiten Widerstand geleistet wird, zerlegt werden kann, so folgt hieraus, dafs EA als die Diagonale von Ab und Aa gelten könne, wovon Ab der Höhe einer Flüssigkeitssäule äquivalent ist, welche der Geschwindigkeit zugehört, womit die Fläche bewegt wird, Aa dagegen den Widerstand gegen die Zurückwerfung ausdrückt. Hiernach ist:

$$1 : \text{Sin.}\, CAB = Ab : \frac{AE}{2},$$

also

$$AE = 2\,Ab\, \text{Sin.}\, CAB,$$

und

$$1 : \text{Sin.}\, CAB = AE : AB,$$

also

$$AB = 2\,Ab\, \text{Sin.}^2\, CAB,$$

wonach

$$Ab : AB = 1 : 2\, \text{Sin.}^2\, CAB.$$

Ist demnach die Bewegung perpendiculär gegen die Fläche, so ist $Ab = \frac{AB}{2}$ oder der Widerstand ist gleich dem doppelten Gewichte einer Säule der Flüssigkeit, deren Höhe der Geschwindigkeit der Bewegung zugehört.

Bei einem Cylinder und einer Kugel kommt die Wirkung der nachströmenden, in den verlassenen Raum eindringenden Flüssigkeit in Betrachtung, und wenn man diese vernachlässigt, so verhält sich nach Tredgold bei gleichem Durchmesser der Widerstand gegen den Cylinder zu dem gegen die Kugel wie 3:2.

Aus allem diesen folgt, dafs, wenn man die Widerstand

leistende Säule der Flüssigkeit auf die Geschwindigkeit reducirt, welche ein in einer Secunde fallender Körper erhält, und diese Höhe h nennt, ihr allgemeiner Ausdruck $\sqrt{\frac{4gh}{2}}$ ist ($g = 32\frac{1}{6}$ engl. Fuſs genommen), und wenn dann die Geschwindigkeit v der bewegten Fläche gleichfalls in Sexagesimalsecunden genommen, der Neigungswinkel gegen die Richtung der Bewegung aber durch α bezeichnet wird, so ist

$$v \,\mathrm{Sin.}\,\alpha = \sqrt{2gh},\ \text{also}\ h = \frac{v^2 \,\mathrm{Sin.}^2 \alpha}{2g}.$$

Weil aber der lothrechte Widerstand gegen die bewegte Fläche sich zu dem in der Richtung ihrer Bewegung wie $1 : \mathrm{Sin.}\,\alpha$ verhält, so wird aus

$$1 : \mathrm{Sin.}\,\alpha = \frac{v^2 \,\mathrm{Sin.}^2 \alpha}{2g} : \frac{v^2 \,\mathrm{Sin.}^3 \alpha}{2g}$$

die Höhe einer dem Widerstande gleichen Säule der Flüssigkeit gefunden. Heiſst dann b ihre Grundfläche in Fuſsen und w das Gewicht eines Kubikfuſses derselben, so ist ihr Gewicht

$$p = \frac{b w v^2 \,\mathrm{Sin.}^3 \alpha}{2g}.$$

Hieraus folgt:

a) Der Widerstand gegen einen Cylinder, welcher in einer auf seine Basis lothrechten Richtung bewegt wird, wenn r den Halbmesser der Kreisfläche und π die Ludolph'sche Zahl bezeichnet, ist $= \frac{r^2 \pi w v^2}{2g}$.

b) Ist der bewegte Körper ein Kegel, oder endigt er in einen Kegel, welcher in der Richtung seiner Axe bewegt wird, und heiſst eine in seiner Seite gezogene Linie l, der Winkel aber, welchen diese mit der Axe macht, α (wonach seine Grundfläche $= \mathrm{Sin.}^2 \alpha \pi$ ist), so ist der Widerstand gegen diesen Kegel $= \frac{\pi w v^2 \,\mathrm{Sin.}^5 \alpha}{2 g l^3}$ (weil hierbei l den Radius des Kreises vertritt, auf welchen der Sinus des Winkels bezogen wird, und welcher in der oberen Formel $= 1$ genommen wurde). Ist $l^2 = 2 \,\mathrm{Sin.}^2 \alpha$, also wenn die Axe des Kegels die Hälfte des Durchmessers seiner Basis beträgt, so ist der Widerstand

$= \frac{\pi w v^2 \text{Sin.}^2 \alpha}{1{,}68 \times 2g}$, und sein Widerstand verhält sich zu dem gegen einen Cylinder von gleichem Halbmesser wie 1:1,68.

c) Endigt der bewegte Körper in eine Halbkugel vom Halbmesser $= r$, so läſst sich die Richtung ihrer convexen Fläche gegen die Flüssigkeit einem Winkel von 47° 28′ gleich setzen, und der Widerstand ist $= \frac{0{,}4 \times \pi w v^2 r^2}{2g} = \frac{\pi w v^2 r^2}{5g}$, wonach sich der Widerstand gegen einen Cylinder zu dem gegen eine Halbkugel wie 5:2 verhält.

Tredgold setzt dann ferner den Druck, welchen die nachströmende Flüssigkeit gegen den bewegten Körper ausübt, der Höhe einer Säule derselben gleich, welche gegen ihn im Zustande der Ruhe drückt, und nennt diese $= m$, mit Rücksicht auf den Neigungswinkel der Fläche gegen die Richtung der Bewegung aber $= m \text{ Sin.} \alpha$. Indem aber der Widerstands-coefficient $= \frac{v^2 \text{Sin.}^3 \alpha}{2g} = \frac{2 v^2 \text{Sin.}^3 \alpha}{4g}$ gefunden worden ist, die nachdrückende Säule aber der erhaltenen Geschwindigkeit proportional in Bewegung gesetzt werden muſs, so ist der Widerstand R allgemein

$$R = \frac{2 v^2 \text{Sin.}^3 \alpha - 4 g m \text{ Sin.} \alpha + v^2 \text{Sin.}^3 \alpha}{4g}$$

$$= \frac{3 v^2 \text{Sin.}^3 \alpha - 4 g m \text{ Sin.} \alpha}{4g}.$$

Hiernach ist der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit nicht direct proportional, und wenn die Geschwindigkeit gröſser wird als diejenige, welche das Medium sich selbst mittheilen und fortpflanzen kann, so muſs es sich vor dem bewegten Körper anhäufen, bis seine Dichtigkeit oder der Modulus seiner Elasticität groſs genug wird, um den entfernt liegenden Theilen eine Bewegung in der Richtung der gegebenen mitzutheilen.

27) Ohne diese frühere Abhandlung zu erwähnen, hat Tredgold in einer späteren[1] die nämliche Aufgabe noch weiter verfolgt und die hiernach theoretisch gefundenen Resultate mit den durch Erfahrung erhaltenen verglichen. Hierin nimmt

---

1 The Philos. Magazine and Annals cet. 1828. T. III. p. 249.

er, wie früher, an, dafs der *directe Widerstand* der Höhe einer Flüssigkeitssäule gleich sey, welche durch ihren freien Fall eine dem bewegten Körper gleiche Geschwindigkeit v habe, deren Höhe h mit Rücksicht auf den Neigungswinkel also $= \frac{v^2 \text{Sin.}^3 \alpha}{2g}$ sey, wie dieses oben näher erläutert worden ist. Hierzu kommt das, was er *Minusdruck* (*Minus Pressure*) nennt. Die Quantität der Flüssigkeit, welche erfordert wird, um den hinter dem bewegten Körper entstandenen Raum zu füllen, soll bei jeder Form desselben eine beständige Gröfse seyn, und dieser Mangel des Druckes daher blofs nach der Geschwindigkeit variiren, welche die Flüssigkeit annehmen mufs, um dem bewegten Körper zu folgen. Heifst dann β der Winkel, welchen die Fläche mit der Richtung der Bewegung macht, so ist die Geschwindigkeit $= v \text{ Sin.} \beta$, und demnach der hieraus erwachsende Widerstand[1] $= \frac{v^2 \text{Sin.}^2 \beta}{4g}$, wie oben. Werden beide Gröfsen verbunden, so ergiebt sich die ganze Höhe H der dem Widerstande äquivalenten Flüssigkeitssäule:

$$H = \frac{v^2}{4g}(2 \text{Sin.}^3 \alpha + \text{Sin.}^2 \beta) + F,$$

wenn F die Reibung bezeichnet. Wird angenommen, dafs eine

1 Tredgold nennt dieses *resistance from the deficiency*, und ich gebe seine Darstellung unverändert. Offenbar aber mufs der in einer Flüssigkeit bewegte Körper den Theil derselben, in dessen Raum er eindringt, vor sich hin, zur Seite u. s. w. drücken, und die hierzu erforderliche Kraft ist diejenige, welche den Widerstand überwinden mufs; sie giebt den gesammten Widerstand. Die Flüssigkeit wird aber in den durch den bewegten Körper erzeugten Raum wieder eindringen, hierdurch eine gewisse Bewegung erhalten, und mit der hierdurch erzeugten Geschwindigkeit, wenn die Bewegung des Körpers nicht zu schnell ist, die Hinterseite desselben stofsen. Sie bildet also einen der Geschwindigkeit des bewegten Körpers umgekehrt proportionalen, bei einem gewissen Grade der Geschwindigkeit verschwindenden negativen Widerstand, sofern sie durch ihren Stofs die Bewegung befördert, und mufs daher vom eigentlichen Widerstande abgezogen werden. Man übersieht aber bald, dafs die Auflösung dieser Aufgabe, insbesondere wenn man die Beschaffenheit der jedesmaligen Flüssigkeit und die Richtung der Bewegung in Beziehung auf die Falllinie berücksichtigt, zu sehr verwickelten Functionen führt, die bis jetzt der Gewalt der Analyse unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenstellten.

zur Ueberwindung der Reibung erforderliche Säule x Fuſs Höhe habe, so wäre

$$H - x = \frac{v^2}{4g}(2\,\text{Sin.}^3\alpha + \text{Sin.}^2\beta)$$

oder

$$x = H - \frac{v^2}{4g}(2\,\text{Sin.}^3\alpha + \text{Sin.}^2\beta),$$

wenn H die zur Erzeugung der Bewegung erforderliche Höhe bezeichnet. Wird ferner angenommen, die Reibung verhalte sich wie das Quadrat der Geschwindigkeit, und setzt man die Höhe einer Wassersäule, deren Gewicht der Reibung von 1 Quadratfuſs Fläche bei 1 Fuſs Geschwindigkeit in 1 Sec. gleich kommt, $= f$, so ist $\frac{f}{s}$ die Höhe dieser Säule über die gesammte Fläche s des bewegten Körpers verbreitet, und ist dann l p die Ausdehnung dieser Gesammtfläche, so wird

$$x = \frac{f\,l\,p\,v^2}{s}.$$

Obgleich namentlich bei gröſseren Geschwindigkeiten die Reibung sich nicht genau bestimmen läſst, so kann man doch annehmen, daſs die Höhe der zu ihrer Ueberwindung erforderlichen Säule um eine Gröſse $= A\,v$ vermehrt werde, wobei der Coefficient A aus der Beschaffenheit der Flüssigkeit bestimmt werden muſs, und dann ist

$$x = \frac{f\,p\,v^2(1 + A\,v)}{s},$$

mithin

$$H = v^2\left(\frac{2\,\text{Sin.}^3\alpha + \text{Sin.}^2\beta}{4g} + \frac{f\,p(1 + A\,v)}{s}\right).$$

Aus dieser allgemeinen Gleichung lassen sich für die verschieden gestalteten Körper folgende entwickeln:

a) Wenn eine ebene Fläche von gegebenem Inhalt und überall gleicher Dicke in gewissen Winkeln gegen eine Flüssigkeit bewegt wird, so ist mit Vernachlässigung der Reibung

$$H = \frac{v^2}{4g}\left\{2(\text{Sin.}^2\alpha + \text{Cos.}^2\alpha) + \text{Sin.}\,\alpha + \text{Cos.}\,\alpha\right\}.$$

Ist die Dicke unbedeutend, so daſs der Einfluſs der Seiten vernachlässigt werden kann, so wird

$$H = \frac{v^2}{4g}(2 \mathrm{Sin.}^2 \alpha + \mathrm{Sin.} \alpha).$$

b) Ist der bewegte Körper ein Parallelepipedon mit einem keilförmigen Vordertheil, so ist $\mathrm{Sin.}\beta = 1$, und also

$$H = \frac{v^2}{4g}(2 \mathrm{Sin.}^3 \alpha + 1),$$

und mit Rücksicht auf die Reibung

$$H = \frac{v^2}{4g}\left(2 \mathrm{Sin.}^3 \alpha + 1 + \frac{4gfp\left(1 + \frac{b}{4 \mathrm{Sin.} \alpha}\right)}{s}\right).$$

c) Durch höhere Rechnung findet Tredgold für die Kugel $H = \frac{1,3 v^2}{4g}$, für den Cylinder mit der Halbkugelfläche am vorderen Ende $H = \frac{1,8 v^2}{4g}$ und mit der Halbkugelfläche am hinteren $H = \frac{2,5 v^2}{4g}$. Hiernach sind die verhältnifsmäfsigen Widerstände gegen die verschieden gestalteten Körper:

gegen einen Cylinder mit ebenen Grundflächen	3 oder	1,00
— — — — halbkugelförmiger Hinterfläche	2,5 —	0,833
— — — — halbkugelförmiger Vorderfläche	1,8 —	0,60
— eine Kugel von gleichem Radius . . .	1,3 =	0,433

28) Um diese theoretischen Bestimmungen durch die Erfahrung zu prüfen, wählt Tredgold die oben (§. 23) bereits mitgetheilten und mit der alten Theorie verglichenen Resultate aus den Versuchen der Mitglieder der französischen Akademie[1].

---

1 S. Bossut Traité d'Hydrodynamique. T. II. p. 411. Tredgold nimmt den gegen die Bahn.

Winkel	beobacht.	Widerstand berechnet ohne Reib.	Widerstand berechnet mit Reib.	Untersch.
180°	10000	10000	10000	0,0000
168	9893	9891	9893	0,0000
156	9578	9571	9578	0,0000
144	9084	9067	9083	0,0001
132	8448	8417	8442	0,0006
120	7710	7663	7700	0,0010
108	6925	6863	6913	0,0012
96	6148	6068	6131	0,0017
84	5433	5330	5407	0,0026
72	4800	4687	4777	0,0023
60	4404	4170	4272	0,0132
48	4240	3781	3897	0,0343
36	4142	3530	3662	0,0480
24	4063	3393	3552	0,0511
12	3999	3341	3578	0,0421

Die Unterschiede sind an sich nicht grofs, wachsen aber offenbar mit der Abnahme der Winkel, und es wäre daher wohl thunlich, sie noch kleiner zu machen.

29) Auch die Resultate, welche Vince (§. 6) mit der Wirbelmaschine erhielt, vergleicht Tredgold mit den durch seine Formel gegebenen, wenn $H = \frac{v^2}{4g}(2 \text{Sin.}^2 \alpha + \text{Sin.} \alpha)$ gesetzt wird. Nimmt man den Widerstand bei einem Neigungswinkel von 90°, oder wenn die Bahn lothrecht auf die bewegte Fläche gerichtet ist[1], = 1000 an, so giebt für kleinere Winkel die Formel $H = \frac{1000 (2 \text{Sin.}^2 \alpha + \text{Sin.} \alpha)}{3}$ folgende Verhältnisse der Widerstände:

1 Hiernach bezeichnet also ein Winkel von 90° dasselbe, als ein Winkel von 180° in der vorausgehenden Tabelle.

Winkel	Widerstand Versuch	Widerstand Rechnung	Unterschied
90°	1000	1000	0
80	963	975	+12
70	915	902	−13
60	820	788	−32
50	660	646	−14
40	506	489	−17
30	330	333	+ 3
20	157	192	+35
10	48	78	+30

30) Einige der Resultate, welche die Gesellschaft für Schiffbaukunst[1] aus ihren Versuchen erhielt, vergleicht er gleichfalls. Der Widerstand wurde bei einer Geschwindigkeit von 5 Seemeilen in 1 Stunde oder 8,35 Par. Fuſs in 1 Secunde gefunden, und zeigte bei verschieden gestalteten Körpern folgende Verhältnisse:

Gestalt der Körper	Widerstand berechnet	Widerstand Versuch	Verhältniſs
dünne quadratische Platte	100,7 ℔.	80,76 ℔.	1,08
Würfel	100,7 —	79,34 —	1,07
dünne runde Scheibe	100,7 —	80,64 —	1,08
Cylinder	100,7 —	74,69 —	1,00
Cylinder mit Halbkugelhinterfläche	83,9 —	56,04 —	0,75
Cylinder mit Halbkugelvorderfläche	60,4 —	22,28 —	0,30
Cylinder mit zwei Halbkugelflächen	43,6 —	18,53 —	0,25
Kugel	43,6 —	25,24 —	0,34

Tredgold meint, es müsse in der Art, diese Versuche anzustellen, irgend ein Fehler begangen worden seyn, weil ihre Resultate mit andern nicht übereinstimmen.

31) Mit Uebergehung einiger anderer Vergleichungen wenden wir uns zu der, welche mit den durch Hutton's Versuche erhaltenen Resultaten angestellt worden ist, da diese, oben (§. 13) bereits erwähnten zu den zuverlässigsten gehören. Hier-

1 Society for the improvement of naval architecture. S. Buchanan on propelling vessels by steam. 1816. Vergl. §. 33 ff.

bei ward eine rectanguläre Scheibe von 32 Quadratzoll Flächeninhalt auf dem Arme der Wirbelmaschine befestigt, und dieser eine verschiedene Neigung gegen die Bahn gegeben. Heifst dann der Widerstand bei 90° oder bei lothrechter Richtung der Scheibe gegen die Bahn = 1000, so gehn folgende Werthe hervor:

Winkel	Widerstand nach Versuch	Widerstand nach Rechnung	Unterschied
90°	1000	1000	0
80	994	975	— 19
70	957	902	— 55
60	868	788	— 80
50	724	646	— 78
40	533	489	— 44
30	331	333	+ 2
20	158	192	+ 34
10	52	78	+ 26
5	19	34	+ 15

War der Neigungswinkel der Scheibe 90° und die Geschwindigkeit 12 Fufs in 1 Secunde, so betrug der Widerstand 0,841 Unze, nach Tredgold's Rechnung 0,896 Unze.

Auch auf die Versuche, welche Hutton mit sehr schnell bewegten Kugeln anstellte, dehnt Tredgold seine Vergleichungen aus. Um die aufgefundene Formel für Kugeln anwendbar zu machen, giebt er ihr folgende Gestalt:

$$H = \frac{v^2}{4g}\left(1{,}3 + \frac{1{,}3 \times 0{,}000000332 \times 4v}{d}\right),$$

und da ein Kubikfufs Luft bei dem gegebenen Barometerstande und der bestehenden Temperatur 1,2 Unzen wiegt, die Fläche des Kugelschnittes aber 0,7854 d^2 Fufs beträgt, so erhält man:

$$\text{Widerstand in Unzen} = \frac{v^2 d^2}{105}\left(1 + \frac{0{,}000001328\,v}{d}\right).$$

Geschwind. in Fuſs	Widerstand in Unzen gegen eine Kugel von 2 Z. Durchmesser. Nach Versuch	Nach Rechnung ohne Reibung	mit Reibung	Unterschied
5	0,006	0,0066	0,0066	0,000
10	0,026	0,0265	0,0265	0,000
15	0,058	0,0595	0,0598	+ 0,001
20	0,103	0,106	0,1066	+ 0,003
25	0,163	0,166	0,1673	+ 0,004
30	0,237	0,238	0,2401	+ 0,003
40	0,427	0,425	0,4301	+ 0,003
50	0,676	0,665	0,6750	— 0,001
100	2,780	2,647	2,7270	— 0,053
200	11,34	10,60	11,240	— 0,100
300	25,80	23,80	25,960	+ 0,160
400	46,50	42,50	47,620	+ 1,120
500	74,40	66,50	76,500	+ 2,100
600	110,4	96,00	113,28	+ 2,88
700	156,0	130,0	157,44	+ 1,44
800	212,0	171,0	211,96	— 0,04
900	280,3	215,0	273,32	+ 6,98
1000	362,1	265,0	345,00	+ 17,10
1100	456,9	321	427,48	+ 29,42
1200	564,1	383	521,24	+ 42,86
1300	683,3	450	625,76	+ 57,54
1400	811,5	520	739,52	+ 71,98
1500	947,1	595	865,00	+ 82,10
1600	1086,9	680	1007,7	+ 79,2
1700	1228,4	769	1162,0	+ 66,4
1800	1368,6	860	1326,6	+ 42,0
1900	1505,7	960	1508,7	— 3,0
2000	1637,8	1060	1700,0	— 62,2

Wenn man die groſsen Schwierigkeiten berücksichtigt, welche einer völligen Genauigkeit solcher Versuche entgegenstehn, so muſs man allerdings der hier statt findenden Uebereinstimmung der empirisch gefundenen mit den berechneten Werthen gerechte Anerkennung widerfahren lassen. Die Unterschiede sind bald positiv, bald negativ und in ihrer Reihenfolge so wenig regelmäſsig, daſs die Formel nicht wohl einen constanten Fehler haben kann; doch sind allerdings die Abweichungen mitunter keineswegs unbedeutend, was jedoch bei den groſsen Schwierigkeiten, die mit der Anstellung solcher Versuche unzertrennlich verbunden sind, nicht auffallen kann.

32) Schwerlich hat ein Gelehrter der älteren oder der neueren Zeit auf irgend ein wissenschaftliches Problem so viel Mühe und Anstrengung verwandt, als Colonel MARK BEAUFOY auf das vorliegende, nämlich den Widerstand der Mittel überhaupt und insbesondere den Widerstand des Wassers gegen Schiffe je nach ihrer verschiedenen Bauart. Seine Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand wurde erregt, als er in seinem funfzehnten Jahre einst einen berühmten Professor der Mathematik äufsern hörte, ein Kegel erleide weniger Widerstand im Wasser, wenn er mit der Basis, als wenn er mit der Spitze gegen dasselbe bewegt werde, und weil der Jüngling diesen paradoxen Satz bezweifelte, so liefs er sich sofort einen Kegel verfertigen, setzte ihn in einem grofsen Kühlfasse der Bierbrauerei seines Vaters durch Gewichte in gleichförmige Bewegung, und fand dadurch die im voraus erwartete Widerlegung[1]. Von diesem Augenblicke an bis kurz vor seinem Tode verfolgte er die ihm hierdurch besonders interessant gewordene Aufgabe mit rastlosem Fleifse. Zu welchen allgemeinen Endresultaten übrigens seine vielen Bemühungen und insbesondere seine überaus zahlreichen Experimente führen werden, ist noch nicht bekannt, und läfst sich erst dann gehörig würdigen, wenn der weitere bedeutende Rest seiner nachgelassenen Manuscripte zur Kenntnifs des Publicums gelangt seyn wird. Wir besitzen verschiedene Abhandlungen von ihm, die meistens stets erneuerte und verbesserte Versuche enthalten. Einige derselben beziehn sich auf den Widerstand der Luft oder vielmehr die Kraft des Windstofses gegen verschieden gestaltete und in ungleichen Neigungen der Luft entgegen bewegte Flächen, hauptsächlich zur Ermittelung der geeignetsten Gestalt und Richtung der Windmühlenflügel und der Segel. Für diesen Zweck bediente er sich[2] einer Maschine, die, in ihren wesentlichen Theilen und ihrer Construction im Ganzen nach, derjenigen gleicht, die SMEATON (§. 18) gebrauchte, und der ich den Vorzug geben möchte, sobald nur die Bewegung durch Gewichte und nicht durch Ziehen mit der Hand hervorgebracht wird. Von den Tabellen, worin die Resultate aus den Versuchen zusammengestellt sind, mögen nur folgende hier Platz

---

1 S. Nautical and hydraulical Experiments. Preface. p. VIII.

2 S. Annals of Philosophy. T. VI. p. 277. T. VIII. p. 94.

finden. Wird zuerst der ganze Effect und der die Umdrehung der Windmühlenflügel bewirkende zu 10000 angenommen, so sind beide je nach dem Neigungswinkel der Flügel gegen die Richtung des Windes folgende:

	Effect			Effect	
Winkel	ganzer	forttreibender	Winkel	ganzer	forttreibender
5°	217	134	50°	6069	561
10	438	236	55	6708	548
15	940	407	60	7410	496
20	1561	533	65	8244	455
25	2274	644	70	8615	342
30	3475	753	75	8934	272
35	4118	710	80	9279	184
40	4832	708	85	9551	98
45	5377	666	90	10000	0

Bei einer anderen Reihe von Versuchen waren die Flügel festgestellt, so dafs sie sich nicht um ihre horizontale Axe drehn konnten; sie gaben daher nur für verschiedene Neigungswinkel und die ungleichen Geschwindigkeiten der Luftbewegung die absolute Kraft des Stofses in Unzen Avoir-du-poids gegen eine Fläche von 2 Quadratfufs Inhalt. Diesem ist hinzugefügt der Werth von x oder der Exponent, wenn man für verschiedene Geschwindigkeiten die Kraft $= v^x$ nimmt.

Neigungs-winkel	Widerstände für Geschwindigkeiten von 4 F.	8 F.	10 F.	12 F.	16 F.	20 F.	x
90°	1,0860	4,4757	7,0580	10,238	18,409	20,011	2,041
85	1,0821[1]	4,3458	6,8252	9,8681	17,652	27,700	2,023
80	1,0782	4,3152	6,7412	9,7052	17,421	26,920	1,999
75	1,0610	4,2060	6,5500	9,4075	16,650	25,919	1,986
70	1,0128	4,0323	6,3048	9,0424	16,031	24,993	1,991
65	0,9280	3,7665	5,9099	8,5380	15,254	23,918	2,019
60	0,8664	3,4587	5,3983	7,7656	13,780	21,495	1,995
55	0,7315	3,0112	4,7458	6,8805	12,359	19,462	2,038
50	0,6635	2,7285	4,2988	6,2460	11,187	17,607	2,038
45	0,6130	2,4754	3,8774	5,6072	9,9680	15,600	2,013
40	0,5212	2,1574	3,4052	4,9420	8,8918	14,017	2,045
35	0,4382	1,8251	2,8858	4,1947	7,5629	11,947	2,039
30	0,3320	1,4977	2,3852	3,4868	6,3423	10,081	2,105
25	0,2790	1,0917	1,6930	2,4223	4,2604	6,5987	1,966
20	0,1590	0,6790	1,0800	1,5760	2,8570	4,5275	2,078
15	0,1235	0,4304	0,6735	0,9749	1,7446	2,7277	1,964
10	0,0678	0,2397	0,3598	0,5014	0,8462	1,2720	1,821
5	0,0353	0,1223	0,1824	0,2529	0,4320	0,6310	1,797

Der Exponent der Geschwindigkeit x ist im Mittel = 1,9977 und kommt also der Gröfse 2 so nahe, dafs der Unterschied als verschwindend erscheinen kann; auffallend ist aber, dafs sein Werth bei kleinen Neigungswinkeln so stark abnimmt, denn ohne die drei letzten Bestimmungen würde er = 2,0851 seyn. Man darf daher mit Grund annehmen, dafs der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist, mit einer Zunahme, die bei wachsenden Geschwindigkeiten gleichfalls nach einem gewissen Gesetze erhöht wird. Es ist dieses sicher als eine Folge der zunehmenden Aufstauung der Flüssigkeiten vor den bewegten Körpern zu betrachten.

33) Bei weitem der gröfste Theil der Bemühungen Beaufoy's war auf die Erforschung des Widerstandes gerichtet, welcher das Wasser verschieden gestalteten und in verschiedenen Neigungen gegen dasselbe bewegten Körpern entgegensetzt[2]. In

1 Statt dieser Zahl steht 1,0678, was aber falsch ist, wie sich aus der berechneten Geschwindigkeit ergiebt.

2 Man findet dieses alles in einem Prachtwerke: Nautical and hydraulic experiments with numerous scientific miscellanies. By Colo-

Folge der oben erzählten Veranlassung wurde er vermocht, zwei Reihen von Versuchen mit Pendeln, die sich im Wasser bewegten, anzustellen. Durch Bekanntwerdung dieser gediegenen Arbeiten erwarb er sich das erforderliche Zutrauen, und gab wohl hauptsächlich Veranlassung, dafs am 14ten April 1791 die bereits erwähnte Gesellschaft (*Society for the improvement of naval architecture*) unter der Präsidentschaft des Herzogs von Clarence gestiftet wurde, welche eine aufserordentliche Menge von Versuchen in einem sehr geeigneten Bassin des Grönland-Werftes (*Greenland Dock*) unweit London anstellte. Hierbei wurden die verschiedenst gestalteten Körper sowohl auf der Oberfläche, als auch etliche Fufs tief unter dem Wasser durch die erforderlichen Gewichte mit bestimmter Geschwindigkeit bewegt, um hierdurch den Widerstand zu ermitteln, und um den eigentlichen Zweck nicht zu verfehlen, wählte man sogar ziemlich grofse Boote von der verschiedensten Bauart. Der gröfste Theil der Mühe bei der Anstellung der Versuche und der Berechnung der Resultate fiel auf Beaufoy, welcher mit Hülfe seiner gelehrten Frau den gröfsten Theil seiner Zeit darauf verwandte. Zwei Reihen von Versuchen sind auf diese Weise zusammengestellt worden, die aus den Jahren 1793 bis 95 und 1796 bis 98; eine Mittheilung derselben oder auch nur eine abgekürzte Zusammenstellung der Resultate würde aber als zu weitläuftig hier um so weniger am rechten Orte seyn, als ihr Nutzen sich zunächst auf die Schiffbaukunst bezieht.

34) Mark Beaufoy[1] hat unterdefs verschiedene einzelne Abhandlungen bekannt gemacht, die sich auf das Problem vom Widerstande der Mittel beziehn, von denen ich jedoch nur diejenige mittheile, welche in einigen sehr instructiven Tabellen Zusammenstellungen der vorzüglichsten mittleren Resultate enthält. In einer dieser Tabellen ist der Widerstand in Pfunden angegeben, welchen eine Fläche von 1 Quadratfufs Inhalt bei 6 Fufs Geschwindigkeit in 1 Secunde erleidet, wenn sie

---

nel Mark Beaufoy, F. R. S. In three Volumes, with Plates. Imp. 4to. T. I. Lond. 1834. Leider ist von diesem nach seinem Tode durch seinen Sohn Henry Beaufoy herausgegebenen Werke bis jetzt nur der erste Theil erschienen.

1 Annals of Philos. New Ser. T. III. p. 276. Vergl. Ann. of Phil. T. III.

unter Winkeln von 90° bis 10° Neigung gegen die Richtung ihrer Bahn bewegt wird.

Neigung	Widerst.	Neigung	Widerst.	Neigung	Widerst.
90°	42,855	60°	34,644	30°	21,867
80	40,171	50	30,720	20	10,031
70	37,382	40	25,717	10	3,086

Noch wesentlicher ist die folgende Tabelle, wovon die erste Columne die Geschwindigkeiten in 1 Sec., die zweite die Höhe einer Wassersäule in Fufsen enthält, welche herabfallend eine gleiche Geschwindigkeit, als die gegebene, erhalten würde, die dritte diejenige Kraft in Pfunden angiebt, welche eine solche Säule gegen die gegebene runde oder quadratische Fläche, jede von 144 Quadratzoll oder 1 Quadratfufs Inhalt, ausüben würde, die vierte den mittleren Widerstand, welchen beide Flächen bei der Bewegung wirklich erlitten, die fünfte den Unterschied der beiden vorhergehenden Columnen und die sechste den durch Erfahrung gefundenen Minuswiderstand gleichfalls in Pfunden.

Geschwindigkeit	Höhe der Wassersäule	Gewicht derselben	Widerstand	Unterschied	Minuswiderstand
1 Fufs	0,0156	0,9750	1,1843	0,2893	0,1616
2 —	0,0621	3,3860	4,6785	1,2925	0,6075
3 —	0,1399	8,7450	10,395	1,6500	1,2973
4 —	0,2487	15,543	18,278	2,7350	2,2010
5 —	0,3886	24,287	28,283	3,996	3,297
6 —	0,5596	34,975	40,382	5,407	4,565
7 —	0,7616	47,603	54,545	6,942	5,989
8 —	0,9948	62,175	70,745	8,570	7,551
9 —	1,2590	78,690	88,960	10,270	9,238
10 —	1,5544	97,150	109,17	12,020	11,030
11 —	1,8806	117,82	131,36	13,54	12,930
12 —	2,2383	139,90	155,55	15,65	14,920
13 —	2,6270	164,18	181,89	17,71	17,184
14 —	3,0476	190,42	210,22	19,80	19,584
15 —	3,4974	218,59	240,56	21,99	22,120
16 —	3,9793	248,71	272,89	24,18	24,789
17 —	4,4923	280,77	307,22	26,45	27,587
18 —	5,0363	314,77	343,50	28,73	30,514
19 —	5,6114	350,71	381,78	31,07	33,568
20 —	6,2117	388,61	422,03	33,42	36,749

Hieraus ergiebt sich, dafs der wirkliche Widerstand den theoretisch gefundenen bedeutend übersteigt; in wie weit aber das Newton'sche Gesetz vom Quadrate der Geschwindigkeiten damit übereinstimmt, darüber sind keine Untersuchungen angestellt worden. Wenn aber in der vorigen Tabelle der Widerstand gegen 1 Quadratfufs Fläche bei 6 Fufs Geschwindigkeit in 1 Sec. = 42,855 ℔., hier aber nur = 40,382 ℔. gefunden wurde, so rührt dieser Unterschied = 2,473 ℔. davon her, dafs die letzteren Versuche mit gröfserer Sorgfalt und Vermeidung einiger zufälliger Hindernisse angestellt wurden; der Hauptgrund dürfte aber darin liegen, dafs jene Versuche mit gröfseren Flächen gemacht und auf 1 Quadratfufs reducirt, diese dagegen mit runden und quadratischen Flächen von genau 1 Quadratfufs Inhalt angestellt worden sind.

35) Wie grofs auch der Aufwand und die Mühe waren, welche die genannte Gesellschaft auf ihre Versuche verwendete, so blieben doch verschiedene Hindernisse zurück, wodurch die genaue Messung des Widerstandes erschwert wurde, wohin namentlich die Reibung des Seiles im Wasser gehörte. Um diese zu vermeiden, stellte Jos. Walker[1] eine Reihe von Versuchen an, wozu er ein Bassin der Ostindien-Docks von 1410 F. Länge, 560 F. Weite und 24 F. Tiefe wählte. Er kam hierbei auf die glückliche Idee, die zur Bewegung der Boote bei verschiedenen Geschwindigkeiten erforderliche Kraft mittelst einer Federwaage (eines *Dynamometers*[2]), woran das eine Ende des Zugseiles befestigt war, unmittelbar zu messen, während das andere Ende vermittelst einer Winde, einer Art Kabestan, gezogen wurde. Die Geschwindigkeiten wurden aus der Zeit berechnet, während welcher die Boote einen Raum von 176 Yards durchliefen; um aber gleichmäfsige Geschwindigkeit zu erhalten, betrug die ganze Strecke doppelt so viel, wovon aber nur die mittleren, durch zwei Zeichen abgesteckten, 176 Yards in Rechnung kamen. Zur Erreichung einer gleichmäfsigen Geschwindigkeit diente ein Pendel von verschiedener Länge, welches die Arbeiter vor Augen hatten und nach dessen Schwingungen sie die Zahl der Umdrehungen abmafsen.

---

1 Philos. Trans. 1828. P. I. p. 15. Edinburgh Journ. of Science. N. XX. p. 355.

2 S. Art. *Dynamometer*. Bd. II. S. 715.

Ohne die Tabellen aufzunehmen, worin die erhaltenen Resultate zusammengestellt worden sind, wird es hier genügen, die wesentlichsten Resultate anzugeben. Bei minder beträchtlichen Geschwindigkeiten zeigte sich der Widerstand den Quadraten der Geschwindigkeit proportional, bei gröſseren ging er aber darüber hinaus. Als Ursache hiervon ist das Aufstauen des Wassers vor dem Körper und das Zurückbleiben desselben hinter ihm zu betrachten, und diese Wirkung kann daher bei geringeren Geschwindigkeiten nicht wahrgenommen werden. Von groſsem praktischen Interesse sind die Resultate der Versuche, welche angestellt wurden, um die Kräfte zu vergleichen, wodurch Lasten mit ungleichen Geschwindigkeiten auf *Canälen* und auf waagerechten *Eisenbahnen* fortgeschafft werden. Bei einer Geschwindigkeit von 2,5 engl. Meilen in 1 Stunde oder 3,44 Par. F. in 1 Sec. erfordern 30 Tonnen auf einem Canalschiffe nicht mehr Kraft, als 7,5 Tonnen auf einer Eisenbahn; nach der Theorie vom quadratischen Verhältnisse des Widerstandes würden bei der doppelten Geschwindigkeit von 6,88 Fuſs in 1 Sec. beide Kräfte einander nahe gleich seyn, nach den Versuchen aber tritt diese Gleichheit bei einer Geschwindigkeit von weniger als 4 Meilen in 1 Stunde oder 5,5 Par. F. in 1 Sec. schon ein. Hieraus ergiebt sich der überwiegende Vortheil der Eisenbahnen für schnelle Bewegungen und des Wassertransportes für langsame.

36) Die jüngsten Versuche dürften wohl diejenigen seyn, welche George Rennie[1] im Jahre 1831 bekannt machte. Zu denselben diente eine Wirbelmaschine von der Art, wie die durch Robins angewandte, ohne sonstige Verbesserung, auſser daſs die den Widerstand leistenden Bleche und Cylinder am unteren Ende der drehbaren Spindel angebracht waren, um auch ins Wasser herabgesenkt zu werden und den Widerstand dieser Flüssigkeit zu messen. Mittelst einer ähnlichen Vorrichtung, indem unten an der Spindel ein hölzerner Cylinder, beider Axen zusammenfallend, aufgesteckt war, um ihn unter Wasser durch Schnur und Gewicht umzudrehn, bestimmte er zugleich die Reibung des Wassers; eine Methode, die wohl auf keine Weise Empfehlung verdient, weil unter allen Bedingungen in kurzer Zeit, noch ehe eine gleichmäſsige Ge-

1 Philos. Trans. 1831. P. II. p. 423.

schwindigkeit zu erreichen steht, das Wasser selbst in eine wirbelnde Bewegung geräth, welche bei späterer langsamerer Umdrehung des Cylinders sogar eine negative Reibung geben könnte. Ohnehin bedarf es nur sehr einfacher Vorrichtungen, namentlich einer solchen, deren sich Walker zur Ermittelung des Widerstandes bediente, um die *Reibung* oder Adhäsion des Wassers an festen Körpern, die auf seiner Oberfläche mit ungleichen Geschwindigkeiten fortgezogen werden, bis zu genügender Genauigkeit zu bestimmen. Inzwischen soll als allgemeines Resultat aus diesen Versuchen hervorgehn, daſs die Reibung oder Adhäsion des Wassers an festen Körpern für geringe Geschwindigkeiten dem Verhältniſs der Gröſse der Flächen nahe kommt, bei gröſseren Geschwindigkeiten aber eine Zunahme der Flächen von keinem merkbaren Einflusse ist. Eine spätere Reihe von Versuchen mit anders gestalteten Körpern zeigte auch bei geringen Geschwindigkeiten keine den Flächen ganz proportionale Zunahme der Reibung, indem sie vielmehr im Verhältniſs von 1:3 statt von 1:4 wuchs. Die Vermehrung der Geschwindigkeit zeigte auch hierbei keine Vermehrung der Reibung, nahe übereinstimmend mit dem Resultate, welches die Gesellschaft für Beförderung der Schiffbaukunst gefunden hatte, wonach vielmehr eine mit der Zunahme der Geschwindigkeit abnehmende Reibung statt finden soll. Diesemnach schlieſst Rennie, daſs die Blänke des Kupfers der Schiffe nach den Fahrten nicht von der Reibung, sondern von andern Ursachen herrühre, die man vielleicht in dem stets erneuerten Wegspülen des anklebenden Schmuzes finden könnte.

Es sind zwar für die Versuche über den Widerstand der Luft und des Wassers die einzelnen Gröſsen, namentlich die Gewichte, die Geschwindigkeiten, die Gestalten und die Dimensionen der gebrauchten Körper in Tabellen zusammengestellt, allein es fehlen zugleich zu viele anderweitige specielle Bestimmungen, als daſs es möglich seyn sollte, genaue Resultate daraus abzuleiten. Hier möge es daher genügen, nur diejenigen allgemeinen anzugeben, welche Rennie selbst daraus ableitet. Hiernach sollen sich die Widerstände sowohl gegen Luft, als auch gegen Wasser wie die Quadrate der Geschwindigkeiten verhalten. Ferner ist das Verhältniſs der Widerstände gegen kreisförmige Scheiben, quadratische Platten und Kugeln bei gleichem Inhalte der Flächen gegen Luft wie 25,180:22,010:10,627,

gegen Wasser aber wie 1,18 : 1,36 : 0,755. Hiernach ist dann das Verhältniſs des Widerstandes gegen Luft und gegen Wasser

bei kreisförmigen Scheiben	= 1 : 21,3
bei quadratischen Platten	= 1 : 16,2
bei hölzernen Kugeln	= 1 : 2,2.

Die absolute Richtigkeit dieser Bestimmungen dürfte sich schwerlich verbürgen lassen.

37) Die Versuche der schwedischen Gelehrten[1] Lagerhielm, Forselles und Kallstenius, die mit Unterbrechungen in den Jahren 1811 bis 1815 zu Fahlun angestellt wurden, verdienen noch eine nähere Betrachtung. Um die Körper im Wasser fallen zu lassen, bedienten sie sich eines senkrecht gestellten parallelepipedischen Gefäſses von 29 schwedischen Fuſs Höhe und 1 F. 7 Z. Seite, in welchem 15,6 Fuſs unter dem Centrum der herabfallenden Körper und 26,4 F. abermals zwei einander gegenüber stehende Gläser eingesetzt waren, um die Ankunft der fallenden Körper an beiden Stationen und die Zeit ihres Fallens bis dahin zu beobachten. Unten fielen sie auf ein in einen Rahmen ausgespanntes Netz, welches an Schnüren herausgezogen werden konnte, um die Versuche mit den nämlichen Körpern zu wiederholen. Das eine Glas, durch welches der Beobachter sah, hatte nur die Gröſse des Auges, das gegenüber befindliche war ein Rechteck von 0,4 F. Breite und 0,07 F. Höhe, wonach also ein gesehener Körper nahe in der Axe des Gefäſses gefallen seyn und eine gerade Linie beschrieben haben muſste, was zur genauen Messung des Fallraumes in der gegebenen Zeit nothwendig war; auch galt eine Beobachtung nur dann für gelungen, wenn beide Beobachter den Körper gesehn hatten. Für die zwei letzten Versuche waren oben 7,8 Fuſs tief noch zwei Gläser angebracht. Die angewandten Körper waren meistens Kugeln, und damit sie beim Fallen keine Drehung erleiden möchten, wurden sie nach dem glatten Abdrehn mit Firniſs überzogen und dann in Schwe-

1 Auszüge aus dem groſsen Werke in deutscher Sprache von J. W. Pfaff findet man in Kastner's Archiv. Th. XI. S. 305. Die Versuche sind genau beschrieben in zwei Quartbänden in schwedischer Sprache, und auſserdem findet man die Hauptsachen in Lagerhielm's Tentamen theoriae resistentiae fluidorum constituendae. Keines dieser beiden Werke konnte ich zu Gesicht bekommen.

felsäure gesenkt, wodurch ihr Schwerpunct nach unten gerichtet war und man sie oben bezeichnen konnte. Daselbst wurde dann ein Oehr von einem kleinen Bleche mit Siegellack befestigt, ein Faden hindurch gezogen und dieser abgeschnitten; als man aber fand, dafs die Zeitmessung ebenso genau war, wenn man sie blofs mit den Fingern fafste und losliefs, so blieben die Fäden weg. Die Kugeln waren von Zinn, hohl und von weniger als 0,01 F. Metalldicke, die hölzernen wurden erst mit Leinöl getränkt, dann mit Bernsteinfirnifs überzogen, ihre Durchmesser und specifischen Gewichte genau bestimmt. Aufserdem gebrauchten sie einen Cylinder von Holz, von 0,2 Fufs Höhe und 0,184 F. Durchmesser, auf dessen eine Fläche ein Kegel mit einem Winkel von 26° gesetzt war; auf der andern befand sich eine Scheibe, die man nicht gröfser als 0,17967 F. im Durchmesser erhalten konnte, oder ein Kegel, dessen Winkel 52° betrug. Hiermit wurden die Versuche Nr. 11 und 12 gemacht. Um die Abweichung der Falllinie von der Axe des Gefäfses zu vermeiden, wurde durch die eine der Kugeln ein Loch gebohrt, eine messingne Röhre eingesetzt und in der Axe des Gefäfses eine Claviersaite ausgespannt, an welcher die Kugel herabfiel; allein dieses war wegen zu grofser Reibung unthunlich, wie der Versuch 6(a) zeigt. Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der erhaltenen mittleren Resultate.

Nr.	spec. Gewicht	Durchmesser	Fallzeit in Secunden durch		
			15,8 Fufs	26,4 Fufs	
1	1,6344	0,29594	4	7	
2	1,3960	0,28708	5,357	9,055	
3	1,1740	0,28432	9	14	
4	1,1397	0,28432	10,25	15,75	
5	1,0581	0,28948	15,25	24,75	
6(a)	1,0653	0,28948	16,58	26,85	
6(b)	1,0653	0,28948	14,57	24,14	
7	1,07135	0,39844	12,66	21,66	
8	1,1247	0,20326	12	19,33	
9	1,0889	0,100337	17,2	29	
10	1,4021	0,100337	9,125	15,5	
			7,8 Fufs	15,8 Fufs	26,4 Fufs
11	1,34496	0,17967	2,25	5	8,6
12	1,1899	0,17455	2,6	6	9,25

Aaaaaa 2

Unter diesen Beobachtungen sollen Nr. 1 und Nr. 6 (b) vorzüglich genau seyn.

38) Zuerst ist die Frage zu beantworten, ob der Raum zwischen 15,8 und 26,4 Fuſs mit ganz gleichmäſsiger Geschwindigkeit durchlaufen worden sey. Dieses läſst sich ermitteln, wenn man den ersten Versuch zum Grunde legt und danach die Proportion bildet: 15,8 F. : 26,4 F. = 4 Sec. : 6,7 Sec. Die Beobachtung giebt 7 Sec., wonach also gewiſs keine Beschleunigung statt findet. Alle nach der Voraussetzung einer gleichmäſsigen Bewegung berechnete Versuche geben folgende Gröſsen.

Nr.	Fallzeit berechnet	Fallzeit beobachtet	Unterschied
1	6,7	7	+ 0,3
2	8,96	9,05	+ 0,09
3	15,0	14	— 1,00
4	17,1	15,75	— 1,36
5	25,4	24,75	— 0,65
6 (a)	27,7	26,8	— 0,9
6 (b)	24,4	24,14	— 0,26
7	21,2	21,7	+ 0,5
8	20,0	19,33	— 0,67
9	28,7	29	+ 0,3
10	15,3	15,5	+ 0,2

Hieraus geht allerdings eine geringe Beschleunigung hervor, allein sie ist so unbedeutend, daſs man die *Bewegung mit Recht als gleichmäſsig* betrachten kann. Auſserdem gelangten die Beobachter zu dem Resultate, daſs ein Canal, dessen Durchmesser 4mal so groſs ist, als der des in ihm bewegten Körpers, einen *bedeutenden Einfluſs auf den Widerstand* habe, welcher verschwindet, wenn jeder Durchmesser 8mal so groſs wird.

39) Aus theoretischen Gründen nimmt Nordmark, welcher die Versuche geleitet und beaufsichtigt hatte, an, daſs der Widerstand durch zwei Ursachen erzeugt werde, deren erste aus dem Gegendrucke der Flüssigkeit (seiner *vis inertiae*), die zweite aus der Adhäsion, Reibung und sonstigen Hindernissen herrühre, die dann beide als Functionen der Geschwindigkeit

zu betrachten seyen. Nennt man v die Geschwindigkeit in schwedischem Fuſsmaſs, s die Oberfläche oder die Basis des bewegten Körpers, m das Gewicht eines Kubikfuſses Wasser (für den schwedischen zu 61,467 schwedische ℔. angenommen) und g den Fallraum in 1 Sec. (für Upsala durch Celsius zu 16,534 schwedischen Fuſs bestimmt), so ist, wenn P und F diese beiden Theile des Widerstandes bezeichnen:

$$P + F = ms\frac{v^2}{4g} + msf\frac{v^3}{4g},$$

worin f durch Versuche zu bestimmen ist. Der Versuch Nr. 8 nach dieser Formel berechnet gab den Widerstand

$$W = \tfrac{5}{12}ms\frac{v^2}{4g} + \tfrac{1}{12}0{,}9768\frac{v^3}{4g}.$$

Weit genauere Uebereinstimmung gab aber der Versuch Nr. 12, wenn die Reibung unabhängig von der Geschwindigkeit berechnet wurde, wonach der ohnehin durch anderweitige Erfahrungen bestätigte Satz als begründet erscheint, daſs *die Reibung von der Geschwindigkeit unabhängig sey.* Wird dieses angenommen, so läſst sich der Widerstand nach der einfachen Formel

$$W = ms\frac{v^2}{4g}$$

gegen die Fläche und

$$W = 0{,}5ms\frac{v^2}{4g}$$

gegen die Kugel berechnen. Der Versuch Nr. 8 gab den Factor = 0,53 für die Kugel und der Versuch Nr. 12 für den Kegel = 0,5396, verschiedene andere = 0,46, wonach also 0,5 als sehr genähert gelten kann. Hierdurch wäre also der Satz, daſs nach Newton's Gesetz der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sey, bestätigt; allein man darf dabei nicht vergessen, daſs im vorliegenden Falle nur mit geringen Geschwindigkeiten experimentirt wurde, wobei allerdings dieses Gesetz Anwendung findet, bei gröſseren giebt aber die Erfahrung Abweichungen von demselben.

40) Die bis jetzt angegebenen Versuche können wohl nur als eine Zugabe zu den weit zahlreicheren betrachtet werden, welche die nämlichen Gelehrten unter der Leitung Nordmark's auf einem Teiche unweit Fahlun über den Widerstand des

Wassers gegen horizontal bewegte Flächen anstellten[1]. Die Bewegung wurde durch Gewichte erzeugt, welche von 25 Fuſs Höhe herabhingen, die Zeit aber mittelst einer Pendeluhr gemessen, jenes ein hierbei meistens angewandtes Verfahren, welches aber der von Walker gewählten unmittelbaren Messung mittelst eines Dynamometers bedeutend nachsteht. Die Länge des Bassins betrug bei einer Breite von 54 Fuſs und einer Tiefe von 3 bis 5 Ellen im Ganzen 184 Fuſs, wovon aber nur 150 F. benutzt wurden, weil die bewegten Körper am Ende ihres Laufes angehalten werden muſsten, um nicht gegen die Maschinerie zu stoſsen. Von den 150 Fuſs blieben die ersten 25 Fuſs unbeachtet, weil die Körper beim Durchlaufen derselben eine gleichmäſsige Geschwindigkeit annehmen muſsten, für die übrigen wurden von 25 zu 25 Fuſs Schnüre oberhalb der Wasserfläche ausgespannt, und ein Beobachter bemerkte, wann ein gewisser Punct der Körper bei ihnen anlangte. Von den übrigen sehr sinnreich construirten Vorrichtungen erwähne ich nur, daſs die angewandten Körper sich ganz unterhalb der Oberfläche des Wassers bewegten, um alle anderweitige Einflüsse aufzuheben. Die gröſsten Schwierigkeiten verursachten die Bestimmung der Reibung der Maschinentheile, doch haben die Experimentatoren alle Bedingungen so genau beachtet und die Prüfungen so oft und unter so verschiedene Modificationen angestellt, daſs man in die Richtigkeit der erhaltenen Resultate volles Vertrauen setzen kann. Die Zahl der von ihnen gebrauchten Boote betrug 32, es ist aber überflüssig, jedesmal die sie bezeichnende Nummer anzugeben, da sich diese auf die hier übergangene Beschreibung ihrer Dimensionen bezieht.

41) Nach der angegebenen Formel Nordmark's, die auf das Newton'sche Gesetz gegründet ist, setzt man den Widerstand mit Rücksicht auf die Gestalt des Vordertheils und des Hintertheils

$$W = m s \frac{v^2}{4g} \text{Sin.}^2 u + m s f \frac{v^2}{4g} \text{Cos.}^2 u .$$

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der hiernach berechneten und der durch Erfahrung gefundenen Gröſsen.

---

1 S. Ebendaselbst. Th. X. S. 79.

Winkel des Vordertheils	Zeit zu 25 Fufs	P	F	Widerstand Theorie	Widerstand Versuch	Unterschied
12° 12′	10	1,25	5,86	7,11	8,99	− 1,88
	16,5	0,47	1,30	1,77	2,68	− 0,91
	10,25	1,22	5,44	6,66	6,62	+ 0,04
	8,5	1,78	9,54	11,32	11,41	− 0,09
	7	2,62	17,08	19,70	15,60	+ 4,10
	6	3,56	27,13	30,69	19,73	+ 10,96
13 18	17,5	0,41	0,88	1,29	2,89	− 1,60
	20,25	0,30	0,57	0,87	1,76	− 0,89
	11,25	0,97	3,31	4,28	5,79	− 1,51
	8,25	1,81	8,39	10,16	10,20	+ 0,04
	7	2,52	13,71	16,23	14,50	+ 1,73
	6,25	3,16	19,30	22,46	19,10	+ 3,31
13 18 50	17,75	0,39	0,84	1,23	1,95	− 0,72
	11,00	1,02	3,54	4,56	5,98	− 1,42
	8,5	1,71	7,66	9,37	10,36	− 0,99
	10	1,23	4,71	5,94	6,09	− 0,15
	17,5	0,40	0,88	1,28	2,71	− 1,43
	10,75	1,07	3,79	4,86	7,03	− 2,17
13 20 40	10,5	1,13	4,07	5,20	5,64	− 0,44
	8	1,94	9,21	11,15	9,83	+ 1,32
13 20 40	16,75	0,44	1,01	1,45	2,43	− 0,98
	11	1,03	3,54	4,57	6,70	− 2,15
13 21 20	12,5	0,28	2,40	3,22	2,48	+ 0,74
	7,5	2,27	11,11	13,38	6,12	+ 7,26
	6	3,54	21,71	25,25	9,31	+ 15,94
	5,25	4,63	32,37	37,00	13,45	+ 23,55
	4,75	5,65	43,75	49,40	17,18	+ 32,23
	12	0,90	2,96	3,59	2,53	+ 1,06
	8	2,02	9,08	11,10	6,53	+ 4,57
	6,75	2,84	15,21	17,96	11,25	+ 6,71
	5,5	4,28	27,95	32,23	15,54	+ 16,69
	5	5,18	37,21	42,39	19,89	+ 22,50
13 21 23	15,5	0,52	1,26	1,78	2,02	− 0,24
	9,75	1,31	5,08	6,59	5,94	+ 0,45
	7,75	2,07	10,11	12,18	10,46	+ 1,72
	6,75	2,72	15,30	18,02	14,34	+ 3,63
	5,75	3,75	24,78	28,53	18,56	+ 9,97
13 24 10	17,5	0,42	0,89	1,31	3,08	− 1,77
	16,5	0,47	1,06	1,53	3,05	− 1,52
	10	1,27	4,78	6,05	7,21	− 1,16
	8	1,98	9,33	11,31	11,51	− 0,20
	7,75	2,11	10,26	12,37	12,01	+ 0,36
	6,75	2,56	13,63	16,19	16,55	− 0,36
	15,5	0,53	1,28	1,81	2,81	− 1,00

Winkel des Vordertheils	Zeit zu 25 Fuſs	P	F	Widerstand Theorie	Widerstand Versuch	Unterschied
13°24'10"	10,25	1,21	4,44	5,65	7,00	— 1,35
	8	1,98	9,33	11,31	11,56	— 0,25
13 25 40	18	0,39	0,81	1,20	1,51	— 0,31
	10,75	1,10	3,82	4,92	5,81	— 0,89
13 28 20	15	0,57	1,41	1,98	2,91	— 0,93
	9,75	1,34	5,13	6,47	7,11	— 0,64
	7,75	2,13	10,21	12,34	11,35	+ 0,99
	15,5	0,53	1,26	1,79	2,63	— 1,84
	10,25	1,20	4,37	5,57	6,73	— 1,21
13 28 40	15,5	0,54	1,30	1,84	2,18	— 0,97
	11,5	0,98	3,18	4,16	7,21	— 3,13
	8,75	1,70	7,21	8,91	11,87	— 2,96
	7,5	2,31	11,46	13,77	16,35	— 2,52
	6,5	3,08	17,60	20,68	20,98	— 0,30
	17	0,45	0,98	1,43	2,72	— 1,29
	10,25	1,24	4,49	5,73	6,81	— 1,08
	7,75	2,17	10,38	12,55	11,15	+ 1,40
	6,5	3,08	17,60	20,68	14,94	+ 5,74
	5,5	4,30	29,05	33,35	18,43	+ 14,92
13 28 50	16,75	0,46	1,01	1,47	1,63	— 0,16
	10	1,28	4,78	6,06	5,64	+ 0,42
	7,75	2,14	10,27	12,41	10,03	+ 2,36
	6,5	3,04	17,40	20,44	14,34	+ 6,10
	6	3,75	22,12	25,69	19,13	+ 6,56
13 29 10	17,75	0,40	0,84	1,24	2,39	— 1,15
	10,5	1,15	3,96	5,11	6,39	— 1,28
13 30 20	16,75	0,45	1,01	1,46	3,05	— 1,59
	9,75	1,35	5,11	6,46	6,39	— 0,17
	7,75	2,13	10,18	12,31	11,16	+ 1,15
	6,5	3,03	17,25	20,28	15,42	+ 4,86
	5,5	4,23	28,47	32,70	19,61	+ 13,09

42) Aus dieser Zusammenstellung ergeben sich verschiedene Sätze. Zuerst stimmt die Theorie mit der Erfahrung vollkommen überein für Geschwindigkeiten von etwa 2,5 Fuſs in 1 Secunde bei stumpfen Hintertheilen. Zweitens aber giebt die Theorie im Allgemeinen für geringere Geschwindigkeiten einen zu kleinen und für gröſsere einen zu groſsen Widerstand, wenn die Hintertheile der Boote stumpf sind. Drittens aber giebt die Theorie den Widerstand zu klein, wenn das Hintertheil der Boote spitz ist. Hierbei fragt sich indeſs, ob diese Abweichung der Theorie von der Erfahrung aus dem ersten

oder dem zweiten Gliede der Formel hervorgeht. Um dieses zu ermitteln, konnten diejenigen Versuche benutzt werden, die mit umgekehrten Booten, das flache Hintertheil voran, oder mit eigens hierzu erbaueten, an der Vorderseite flachen, angestellt wurden. In diesen Fällen wird u = 90°, mithin fällt das zweite Glied der Formel weg und sie verwandelt sich in die einfache Newton'sche, wonach

$$W = m s \frac{v^2}{4g}$$

ist. Die folgende Tabelle zeigt die Zusammenstellung der hiernach berechneten und der durch Erfahrung gefundenen Werthe.

Winkel des Hintertheils	Zeit zu 25 Sec.	Widerstand Theorie	Widerstand Versuch	Unterschied
12° 12'	11	23,76	19,17	+ 4,59
	24,75	4,69	3,10	1,59
	16	11,23	7,57	3,66
	12,5	18,40	12,38	6,02
	10,75	24,88	16,81	8,07
	9,5	31,86	21,33	10,53
13 30 20	25	3,77	3,21	0,56
	15,25	10,13	7,62	2,51
	11,75	17,06	12,37	4,69
	10	23,56	16,96	6,60
	8,75	30,77	21,80	8,97
20 8 40	21,3	5,14	3,03	2,11
	13,8	12,24	7,40	4,84
	11,3	18,26	12,27	5,99
	10	23,32	16,92	6,40
	8,75	30,45	21,76	8,69
52 5 10	24,7	3,87	3,27	0,60
	16,5	8,66	7,80	0,86
	13	13,95	12,64	1,31
	11,25	18,64	17,34	1,30
	9,75	24,81	22,08	2,73
90 — —	21	4,07	3,14	0,93
	14,2	8,91	7,62	1,29
	11,3	14,08	12,46	1,62
	10	17,98	17,08	0,90
	8,75	23,48	21,94	1,54

43) Es ergiebt sich aus dieser Vergleichung, dafs die Theorie den Widerstand zu grofs giebt, und es war daher die zunächst sich aufdringende Frage, ob überhaupt das Newton'sche Gesetz zulässig und der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional zu setzen sey. Inzwischen zeigten hierüber angestellte Berechnungen, dafs man dieses allerdings annehmen könne, und dafs es daher am einfachsten sey, einen durch die Erfahrung zu bestimmenden Coefficienten einzuführen und

$$W = q\,m\,s\,\frac{v^2}{4g}$$

für den geraden Widerstand anzunehmen, um die Theorie mit der Erfahrung in Einklang zu bringen. Der Werth dieser Constante fand sich sehr genähert = 0,67, allein dieses ist nur für den Fall gültig, wenn der Hintertheil so spitz ist, dafs aller Widerstand dagegen verschwindet, und es folgt daher, dafs die Theorie nothwendig auch hierauf Rücksicht nehmen müsse.

Endlich fanden die schwedischen Gelehrten den Widerstand gegen den Cylinder

$$W' = 0{,}907\,m\,s\,\frac{v^2}{4g}$$

und für den Kubus

$$W'' = 0{,}83\,m\,s\,\frac{v^2}{4g}.$$

Diese Bestimmung kommt sehr genau mit der durch die französischen Gelehrten erhaltenen überein, weicht aber bedeutend von der durch Beaufoy gefundenen, nämlich $q = 1{,}02$, ab.

44) Die Bemühungen einiger anderen Gelehrten um die Lösung dieses Problems verdienen gleichfalls hier noch kurz erwähnt zu werden. Dahin gehören vorzugsweise die ausnehmend zahlreichen Versuche, welche Benzenberg im Jahre 1802 auf dem Michaelisthurme zu Hamburg anstellte[1], im Jahre

1 Vorläufige Nachrichten über diese Versuche sind enthalten im Intelligenzblatt der allgem. Litteraturzeitung 1803. S. 957. Voigt's Magaz. Th. IV. S. 692. G. XII. 369. XIV. 225, wo man als Endresultat angegeben findet, dafs das Newton'sche Gesetz schon bei 100 Fufs Fallgeschwindigkeit bedeutend von der Erfahrung abweicht und bei

1804 aber in einem Schachte der Schleebuscher Gewerkschaft in der Grafschaft Mark wiederholte[1], und deren Resultate er in einer eigenen ausführlichen Schrift[2] bekannt machte. Bei den ersteren untersuchte er absichtlich den Widerstand der Luft, indem er Bleikugeln im Mittel von 1,46 Par. Zoll Durchmesser von verschiedenen Höhen herabfallen liefs und das Zeitintervall zwischen dem Anfange des Fallens und dem Ankommen des Schalles mittelst einer Tertienuhr mafs, wobei dann nach Abzug des constanten Fehlers des Sinnes der Unterschied zwischen der berechneten und der gemessenen Fallhöhe den Widerstand der Luft geben mufste. Der constante Fehler des Sinnes wurde zu 3,7 Tertien, die Geschwindigkeit des Schalles zu 1038 Par. Fufs angenommen, die ungleichen Fallhöhen waren 24,8, 67,7, 144, 234,4, 240 und 321 Par. Fufs, die Versuche selbst wurden mehrere Tage nach einander wiederholt. Es stand auch eine Fallhöhe von 340 F. zu Gebote, allein die Versuche waren hierbei so unsicher, dafs nur etwa der vierte Theil für gelungen gelten konnte. Den Schall der aufschlagenden Kugeln hörte man wegen des Rauschens des Windes und des städtischen Lärmens in dieser Höhe nicht, der Moment der Ankunft mufste daher aus dem Aufspringen der Breter entnommen werden. Benzenberg folgert aus diesen Versuchen, dafs bis zu einer Fallhöhe von 144 Fufs oder bis zur Geschwindigkeit von 91 Fufs in 1 Sec. das Newton'sche Gesetz des den Quadraten der Geschwindigkeit proportionalen Widerstandes recht gut zu der Erfahrung passe, statt dafs bei 240 Fufs Fallhöhe oder 127 Fufs Fallgeschwindigkeit in 1 Sec. ein weit gröfserer statt finde. Die folgende Tabelle macht diesen wachsenden Unterschied anschaulich.

---

321 Par. Fufs Fallhöhe für 1,5 zollige Bleikugeln um die Hälfte zu geringe Werthe giebt.

1 G. XVII. 476.

2 Versuche über das Gesetz des Falls, über den Widerstand der Luft und über die Umdrehung der Erde. Dortm. 1804. 8.

Fallhöhe	Fallzeit Vers.		Fallzeit Rechn.		Unterschied
24,8 Fufs	1″	17‴,08	1″	17‴,01	0‴,07
67,7 —	2	8,77	2	7,55	1,22
144,0 —	3	6,95	3	6,86	0,09
234,4 —	4	1,05	3	59,67	1,38
240,0 —	4	3,70	4	2,59	1,11
321,0 —	4	48,30	4	41,89	6,41
340,0 —	5	0,00	4	50,50	9,50

Von unbedeutendem Einflusse ist, was indefs hier bemerkt werden möge, dafs nicht alle Kugeln völlig gleich waren, indem ihr Durchmesser im Mittel 1,56 engl. Zoll betrug, der der kleinsten aber 1,48 und der der gröfsten 1,7 Z. Ueber den Widerstand der Luft gegen fallendes Wasser, welcher gleichfalls durch Versuche geprüft wurde, wollen wir uns hier in keine Erörterungen einlassen.

45) Brandes[1] unterwarf die sämmtlichen Versuche einer genauen Berechnung, allein es scheint mir nicht zweckmäfsig, diese hier mitzutheilen; denn obgleich sie ebenso genau als elegant ist, so müfsten doch die constanten Gröfsen, namentlich die Geschwindigkeit des Falles und die der Fortpflanzung des Schalles in 1 Sec., nach den neuesten Untersuchungen hierüber näher bestimmt werden, wenn man auf diesem Wege zu völlig genauen Resultaten gelangen wollte. Dieses ist sogar nicht ohne Einflufs auf die Bestimmung des constanten *Sinnenfehlers*, welcher auf folgende Weise gefunden wurde. Für 10 F. Höhe giebt die Berechnung des Falles im leeren Raume 48‴,825, in der Luft 48‴,86, und da die Beobachtung 52‴,53 betrug, so ist jener Fehler = 3‴,67 oder in runder Zahl 3‴,7. Als allgemeines Resultat geht aus diesen Versuchen, so wie aus denen von Robins, Hutton und Andern hervor, dafs das Newton'sche Gesetz vom den Quadraten der Geschwindigkeiten proportionalen Widerstande zwar für geringe, nicht aber für grofse und hauptsächlich sehr grofse Geschwindigkeiten pafst.

46) Endlich dürfen die Versuche nicht übergangen werden, welche der ebenso gelehrte als sorgfältig experimentirende

1 A. a. O. S. 194 ff.

PRECHTL[1] angestellt hat, um den Widerstand der Luft aufzufinden. Die Maschine, deren er sich hierzu bediente, bestand Fig. 200. im Wesentlichen aus einem mit Papier überzogenen Rahmen, einem papiernen Schirme mnop, welcher mittelst der am Stiele fg befindlichen Schraube und kleiner hölzerner Stifte, die bei m und n horizontal, dazwischen aber vertical eingesteckt waren, unbeweglich auf dem Cylinder AB fest safs, so dafs sich der Rand mn des Rahmens genau in der Axe des Cylinders befand. Die beiden stählernen Spitzen a und b liefen in den Vertiefungen zweier Messingstücke, welche in die beiden hervorstehenden Arme eines Gestelles eingesenkt waren, die unbeweglich fest angeschraubt durch eine Schraube nur so viel von einander entfernt werden konnten, um die Spitzen a und b in die Vertiefungen zu bringen und sie durch Anziehn der Schraube bei leichtester Beweglichkeit gegen das Herausfallen zu sichern. Zur Herstellung des Gleichgewichts war in dem hölzernen Stabe fg ein Loch gebohrt, und dieses mit einer Bleimasse ausgefüllt, die gerade hinreichte, den Schirm in jeder Lage stillstehend zu erhalten. Um das längere Ende des Cylinders war eine Schnur geschlungen, an welcher eine Schale mit Gewichten hing, die durch ihr Herabfallen die Umdrehung der Walze mit ihrem Schirme bewirkte. Zur Compensirung des beim Fallen des Gewichtes sich vom Cylinder abwickelnden Fadens diente die bekannte Methode, am unteren Theile der Schale einen gleichen Faden von der Länge der Fallhöhe zu befestigen, welcher sich um ebenso viel auf dem Boden anhäufte, als vom Cylinder abgewickelt wurde; die hierdurch in Folge verringerten Druckes auf die Walze verminderte Reibung konnte als zu gering unbeachtet bleiben, da das Gewicht des aufgehäuften Fadens in den ersten Versuchen nur $\frac{11}{72}$ Quentchen betrug. Da ferner dieses Stück Blei dem mit Papier überzogenen Rahmen das Gleichgewicht hielt, so hätte es der Axe der Walze näher gerückt werden müssen, wenn das Papier fehlte; statt dessen diente aber ein Stück Blei, welches am Rahmen befestigt wurde, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. Wegen der Ausdehnung des Fadens durch ungleiche Gewichte und der hierdurch veränderten Menge der Umläufe des Cylinders um seine Axe ward die Länge des

1 G. XXIII. 129.

Fadens vor jedem Versuche der Fallhöhe von nahe 30 Fuſs stets gleichgemacht. War der Rahmen mit Papier überzogen, so trat Gleichförmigkeit der Bewegung schon nach wenigen Umläufen ein, beim nicht überzogenen erst bei der 15ten, und es wurden daher von den der Fallhöhe zugehörigen 41 Umdrehungen die ersten 21 nicht mit gerechnet, ein mit dem Anfange der 22sten losgelassenes halbes Secundenpendel gab aber die Zeit der letzten 20 Umdrehungen bis zu dem Augenblicke an, wo das Gewicht auf das unten liegende Bret aufschlug, ohne hierbei jedoch die Zeit zu beachten, welche der Schall zum Durchlaufen der 30 Fuſs Fallhöhe bedurfte.

War der Rahmen mit der Papierfläche versehn und bewirkte ein Gewicht P die letzten 20 Umläufe in der Zeit t, so wurde hierdurch der Widerstand gegen das Papier, den Rahmen und die hölzerne Handhabe, und auſserdem die Reibung überwunden. Um den Widerstand gegen die Papierfläche allein zu erhalten, diente ein genau abgemessenes Gegengewicht Q, welches durch die Walze gehoben wurde, während der Apparat nach Wegnahme des Papiers in der nämlichen Zeit t die letzten 20 Umdrehungen vollendete. Bei einer zweiten Reihe von Versuchen diente ein sehr feines Hebelwerk dazu, die Kugel des Pendels festzuhalten und genau beim Anfange der letzten 20 Umdrehungeu loszulassen, um dadurch eine schärfere Zeitbestimmung zu erhalten.

Mit Uebergehung der ausführlichen Rechnungen, die zur Corrigirung der unmittelbar gefundenen Gröſsen dienten, um aus diesen den eigentlichen Widerstand = R zu finden, geben wir hier nur die aus beiden Versuchsreihen erhaltenen Endresultate, unter denen die Bestimmung der Höhe derjenigen Flüssigkeitssäule, welche durch ihren gleich schnellen Fall einen dem Widerstande gleichen Stoſs gegen die gegebene Fläche erzeugen würde, am wichtigsten ist. Die folgenden Tabellen geben eine Uebersicht der zusammengehörigen Gröſsen.

Erste Versuchsreihe.

Geschwind. in Fufs	Werthe in Lothen von Q'	von R	Höhen-coefficient
2,8377	4,6074	0,8885	3,7514
3,0820	5,4664	1,0541	3,7732
3,3055	6,4656	1,2468	3,8798
3,5140	7,3047	1,4087	3,8787
3,7413	8,1667	1,5749	3,8255
4,6135	12,6099	2,4317	3,8844
5,3145	16,8940	3,2579	3,9219
5,9683	21,2959	4,1068	3,9200
6,5109	25,1393	4,8461	3,8859
6,9954	28,8152	5,5569	3,8610
7,4827	32,9454	6,3534	3,8582
7,8744	37,0395	7,1429	3,9168
Mittlerer Höhencoefficient =			3,8637.

Zweite Versuchsreihe.

Geschwind. in Fufs	Werthe in Lothen von Q'	von R	Höhen-coefficient
8,7616	43,5606	8,4411	3,7387
9,2158	47,6590	9,2352	3,6972
9,5554	52,1211	10,0999	3,7611
10,0268	56,3113	10,9119	3,6903
10,3725	60,4845	11,7205	3,7040
10,7430	64,4007	12,4792	3,6765
10,9463	69,0192	13,3744	4,7952
Mittlerer Höhencoefficient =			3,7232.

Als mittleres Resultat geht aus allen diesen, unter sich wenig abweichenden Gröfsen hervor, dafs der Widerstand der Luft gegen eine dünne Platte mit parallelen Flächen dem Gewichte einer Luftsäule von der nämlichen Basis und der 3,7931-fachen, der Geschwindigkeit, womit die Platte bewegt wird, zugehörigen Höhe gleich ist, oder $R = 3{,}7931\,h.a.q$, wenn h diese Höhe, a den Flächeninhalt und q das Gewicht eines Kubikfufses Luft bezeichnet. Prechtl verkennt nicht, dafs diese Bestimmung bedeutend von der früheren Annahme abweicht, wonach der Factor von $h = 2$ oder nach Einigen sogar nur $= 1$ seyn soll, und er sucht daher die Ursachen auf, woraus dieser

Unterschied entstehn mag. Dabei versteht sich in voraus von selbst, dafs der Coefficient von h nicht kleiner als 2 seyn könne, weil nur durch die doppelte Höhe diejenige Fallgeschwindigkeit erhalten wird, welche der gegebenen Bewegung zugehört, wie auch NEWTON annahm. Dafs der hier gefundene Factor aber fast doppelt so grofs, als 2 ist, wird von ihm aus folgenden Gründen abgeleitet. Jener Factor ist aus dem Stofse der Flüssigkeiten gegen ruhende Flächen, namentlich aus dem des Wassers entnommen; allein hierbei wirken blofs die Kräfte des bewegten Wasserstrahls[1], beim Widerstande aber mufs nicht nur die bewegte Fläche die in ihrer Bahn liegenden Theile der Flüssigkeit mit der gegebenen Geschwindigkeit vor sich her treiben, sondern auch die Cohäsion (oder Adhäsion) der hinter der Fläche befindlichen Flüssigkeitstheilchen unter sich und mit der Scheibe aufheben. Diese Gröfse schätzt PRECHTL der Hälfte des Widerstandes gegen die vordere Fläche proportional, wonach also der Coefficient von $h = 3$ werden würde. Hierzu kommt aber, dafs die zurückgedrängte Luft nicht sofort entweichen kann, daher aufgestauet und verdichtet wird. Betrüge die Verdichtung das Doppelte der vorhandenen Dichtigkeit, so würde h verdoppelt werden und R daher $4h$ proportional seyn. Wegen der verschiedenen, hierbei mitwirkenden Bedingungen läfst sich auch die eine Flüssigkeit nicht völlig mit einer andern vergleichen und aus der für die eine gefundenen Gröfse nicht auf die einer andern schliefsen. PRECHTL folgert hieraus ferner, dafs das Newton'sche Gesetz, wonach der Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional seyn soll, nicht statt finden könne, weil dasselbe nicht mit der Luftverdickung vor der bewegten Fläche, noch mit der hieraus entstehenden gröfseren Elasticität im Verhältnifs stehen könne. Nur mit Berücksichtigung aller dieser Elemente wird es möglich seyn, ein genügendes Gesetz des Widerstandes für verschiedene Flüssigkeiten und ungleiche Geschwindigkeiten aufzufinden und durch eine angemessene Formel auszudrücken.

47) Bei zwei früheren Untersuchungen gehörte die Bestimmung

---

1 Im Art. *Wind* §. 115 wird gezeigt werden, dafs auch die doppelte Höhe nicht genügt, um die durch Erfahrung gefundene Stärke des Windstofses zu erklären.

des Widerstandes der Mittel so unmittelbar und wesentlich zur Sache, daſs zwar der gewählten Anordnung gemäſs die Aufgabe dort nicht mit der diesem Werke anpassenden Vollständigkeit abgehandelt werden konnte, was dem vorstehenden Artikel vorbehalten bleiben muſste, dennoch aber in ihrer Wesenheit Berücksichtigung verdiente. In Betreff der ersten Untersuchung, nämlich über den Einfluſs des Luftwiderstandes auf *die Bahn der Geschützkugeln*, ist das Nöthigste bereits erörtert worden[1], und ich verweise nur in Beziehung auf die Kugelbahn im Allgemeinen auf eine seitdem erschienene gehaltreiche Abhandlung von Andreossy[2], auſserdem aber verdient in nächster Beziehung auf den Widerstand gegen Geschützkugeln eine dieses Problem behandelnde gelehrte Abhandlung von J. C. E. Schmidt[3] nicht bloſs Berücksichtigung, sondern auch Mittheilung des gefundenen wesentlichsten Resultates. Schmidt sucht die Ursache der mangelnden Uebereinstimmung zwischen der Theorie des den Quadraten der Geschwindigkeiten proportionalen Widerstandes und der Erfahrung hauptsächlich in der Verdichtung, welche die Luft vor den bewegten Körpern erleidet, und versucht es daher, diese mit in den Calcül aufzunehmen. Sofern sich diese Verdichtung aber nur in geringe Entfernungen von den Körpern erstrecken soll, muſs es erlaubt seyn, sie auf ähnliche Weise als die Wirkungen der Molecularkräfte zu behandeln. Den oben sogenannten *Minuswiderstand* oder den Druck auf die hintere Seite des bewegten Körpers setzt er im Mittel dem atmosphärischen Luftdrucke gleich, mit dem Zusatze, daſs dieses auch mit den Resultaten der Erfahrung übereinstimme, obgleich er es im Allgemeinen für unmöglich hält, die mannigfaltigen Bewegungen und Stöſse der Luft auf der Rückseite der Körper analytisch zu entwickeln. Es läſst sich aber gegen jene Annahme der allerdings gegründete Einwand machen, daſs nothwendig hinter dem Körper auf gleiche Weise eine Verdünnung der Luft statt finden müsse, als vor demselben Verdichtung. Nach seinen analytischen Un-

1 S. Art. *Ballistik*. Bd. I. S. 728 u. 742.

2 Sur le tir des projectiles creux. In Mém. de l'Acad. de l'Inst. T. VII. p. 177.

3 Theorie des Widerstandes der Luft bei der Bewegung der Körper. Gött. 1831. Vergl. Fechner's Repertorium Bd. I. S. 85.

tersuchungen findet SCHMIDT den Widerstand der Luft W gegen eine Kugel

$$W = \pi p r^2 w \left\{ \frac{e^q - (q+1)}{q} \right\} \ldots . \quad (1)$$

wenn π die bekannte Ludolph'sche Zahl, $e = 2{,}71823\ldots$, p die Höhe einer dem Drucke der Luft das Gleichgewicht haltenden Quecksilbersäule in Metern, w das Gewicht eines Kubikmeters Quecksilber, v die Geschwindigkeit der Kugel in Metern während einer Zeitsecunde bezeichnen, und $q = \frac{v^2}{2k}$ angenommen wird. Hierin ist $k = \frac{g\,\omega\,\eta}{\Pi}\,(1 + 0{,}00375\,t)$, wenn g den doppelten einer Zeitsecunde zugehörigen Fallraum in Metern, Π das Gewicht der Einheit des Volumens Luft bei 0° Temperatur und unter dem Drucke einer Quecksilbersäule von der Höhe η, ω das Gewicht der Einheit des Volumens Quecksilber und t die Grade des hunderttheiligen Thermometers bezeichnen. Da die hierin vorkommenden Gröſsen bekannt sind, und auſserdem Π sich zugleich mit η ändert, so wird hiernach $k = 78319\,(1 + 0{,}00375\,t)$ nach GAY-LUSSAC's bekannter Bestimmung genommen. Der Widerstand W' gegen einen Cylinder, dessen geometrische Axe in der Bahn seiner Bewegung liegt, wird durch folgende Formel gefunden:

$$W' = \pi p r^2 w\,(e^q - 1) \ldots . \quad (2)$$

Wenn man diese Formeln in Reihen entwickelt, so erhält man

$$W = \pi p r^2 w \left(\frac{q}{2} + \frac{q^2}{1.2.3} + \frac{q^3}{1.2.3.4} + \ldots . \right)$$

und

$$W' = \pi p r^2 w \left(\frac{q}{1} + \frac{q^2}{1.2.3} + \frac{q^3}{1.2.3.4} + \ldots . \right),$$

woraus sich ergiebt, daſs für kleinere Geschwindigkeiten, bei denen die höheren Potenzen von q vernachlässigt werden können, der Widerstand gegen die Kugel halb so groſs ist, als gegen einen Cylinder von gleichem Halbmesser. Dieses stimmt sehr nahe mit der Erfahrung überein. Einige andere Anwendungen, z. B. über die Verhältnisse der zurückgelegten Wege und der ihnen zugehörigen Geschwindigkeiten, welche SCHMIDT von seiner Formel macht, und wodurch er zu Resultaten ge-

langt, die mit den von HUTTON mittelst seines ballistischen Pendels gefundenen sehr nahe übereinstimmen, glaube ich hier übergehn zu können.

48) Das zweite Problem, wobei der Widerstand der Luft nothwendig erörtert werden mufste, betraf die *Reduction des Pendels auf den leeren Raum*[1], um die absolute Länge des einfachen Secundenpendels mit völliger Genauigkeit zu finden. Es sind mir nur zwei Untersuchungen bekannt geworden, welche sich hierauf beziehn, nämlich die Versuche von BAILY[2] und eine theoretische Lösung des Problems durch CHALLIS[3]; der Erstere hat sich nicht begnügt, den Widerstand der Luft gegen das Pendel allein zu untersuchen, sondern er unterwirft die Schärfe der Bestimmung des einfachen Secundenpendels überhaupt, namentlich auch in Beziehung auf den Einflufs der Messerschneide und der Gröfse der Schwingungsbogen, einer genauen Revision, wodurch er dann zu dem Resultate gelangt, dafs die bisherigen Messungen immerhin noch keine genügende Sicherheit gewähren. In Beziehung auf BESSEL's Untersuchungen mit 2 Zoll im Durchmesser haltenden Kugeln von Messing und Elfenbein, also von ungleichem specifischem Gewichte und an dünnen Drähten hängend, wählte BAILY diese gleichfalls, liefs sie zuerst in der Luft schwingen, dann in einem Vacuum, welches dem absoluten sehr nahe kam, und folgerte aus den erhaltenen Gröfsen, dafs die früher angenommene Correction mit einem beständigen Factor $= n$ multiplicirt werden müsse. Für Kugeln an dünnen Metalldrähten aufgehangen fand er $n = 1,95$. Hiermit nicht zufrieden dehnte er seine Versuche auch auf Pendel von anderer Gestalt und aus sonstigen Körpern bestehend aus. Für eine Platinkugel von 1,44 Z. Durchmesser, nach DE BORDA's Methode an einem feinen Metallfaden aufgehangen, fand er $n = 1,88$, und als er diese Kugel mit andern von gleichem Durchmesser, aber aus Blei, Messing und Elfenbein, vertauschte, erhielt er nahe gleiche Resultate, im Mittel $n = 1,86$. Bei der Anwendung von Kugeln, wie die von BESSEL gebrauchten, aber aus Blei, Messing und Elfenbein, fand er

1 S. Art. *Pendel*. Bd. VII. S. 345.

2 Philos. Trans. 1832. p. 399. Lond. and Edinb. Philos. Mag. N. V. p. 379.

3 London and Edinb. Philos. Magaz. N. I. p. 40 und N. XV. p. 185.

$n = 1,75$, woraus hervorgeht, daſs nicht bloſs das specifische Gewicht der Körper, sondern auch die Gröſse derselben von Einfluſs ist. Aus den weiteren Versuchen mit verschieden gestalteten Körpern, sowohl hohlen als auch dichten, mit Linsen, cylindrischen Stäben, massiven Stücken, hohlen Röhren, mit dem Reversionspendel u. s. w., indem die Zahl der Versuche sich bis auf 40 erstreckte, ging hervor, daſs der Factor n auch nach der Gestalt der Körper verschieden ist, weswegen noch weitere Versuche erforderlich seyn würden, denselben genau zu bestimmen. Dieses scheint um so mehr nothwendig, als auch die Stangen, woran Kugeln, Cylinder und sonstig gestaltete Körper aufgehangen sind, je nach ihren verschiedenen Durchmessern einen Einfluſs auf den Werth des Factors n äuſsern. Hiernach müſsten, wie er meint, alle bisherige Versuche über die *Länge des einfachen Secundenpendels* und die hieraus gefolgerte *Gestalt der Erde* einer neuen Revision unterworfen werden, wobei aber erforderlich seyn würde, den Werth von n in jedem einzelnen Falle durch unmittelbare Versuche zu ermitteln. Bei der Wichtigkeit der Aufgabe verdient die ganze Abhandlung von denen genau berücksichtigt zu werden, die es unternehmen, sich weiter mit diesem schwierigen Probleme zu beschäftigen.

49) Challis versuchte eine Lösung des Problems auf theoretischem Wege in nächster Beziehung auf die Reduction eines aus einer kleinen Kugel an einem dünnen Faden bestehenden Pendels auf den leeren Raum. Ohne im Einzelnen näher anzugeben, auf welche Weise er zu seiner Hauptgleichung gelangte, da man ohnehin bald gewahrt, daſs er dabei den Widerstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzt, stehe hier nur die einfache Formel, wonach

$$M v^2 + m v^2 = 2 g (M - \mu) (h - x)$$

ist, wenn M die Masse der Kugel, v die Geschwindigkeit ihres Centrums, μ die Masse eines gleichen Volumens Luft, g den Factor der Fallgeschwindigkeit, $h - x$ den verticalen Fall des Centrums der Kugel und m eine gewisse Constante bezeichnet. Diese Formel würde ohne das Glied $m v^2$ genügen, wenn nicht die Masse der verdrängten Luft selbst in Bewegung gesetzt würde, was durch dieses Glied ausgedrückt wird. Die Untersuchung ergab, daſs für die geringe Geschwindigkeit schwingender Pendel die Zusammendrückung der Luft vernachlässigt wer-

den kann. Ebendieses ergab sich für den Widerstand des Fadens, und dabei wurde die Kugel als völlig glatt vorausgesetzt, so daſs durch ihre Unebenheiten keine Bewegung in den sie berührenden Lufttheilchen erregt wird. Hiernach muſs sich die Luft, welche die Kugel berührt, in lothrechten Richtungen auf ihre Oberfläche, also in solchen bewegen, die auf ihr Centrum treffen, und da die Dichtigkeit sich nicht ändert, wird die Geschwindigkeit in den verschiedenen Puncten sich im umgekehrten Verhältniſs des Quadrates der Entfernung ändern. Dieses vorausgesetzt ist erforderlich, die Gröſse $m v^2$ zu berechnen. Man denke sich zwei gerade Linien, die in irgend einem Zeitmomente durch den Mittelpunct der Kugel gezogen sind, eine in der Richtung ihrer Bahn, die andere in einer solchen, welche hiermit einen Winkel $= \Theta$ bildet; die Ebene dieser Linien bilde einen Winkel $= \varphi$ mit derjenigen Ebene, welche rechtwinkelig auf den tragenden Faden der Kugel durch ihr Centrum gelegt ist. Die Geschwindigkeit der Luft in demjenigen Puncte, wo die den Winkel Θ bildende Linie die Oberfläche der Kugel trifft, ist $= v \operatorname{Cos.} \Theta$, und in irgend einem andern Puncte P dieser Linie, welcher um die Gröſse a vom Centrum der Kugel entfernt ist, wird (nach der angenommenen Voraussetzung) diese Geschwindigkeit $= \frac{v r^2}{a^2}$, wenn r den Radius der Kugel bezeichnet. Die Masse eines Elementes der Flüssigkeit in diesem Puncte, die Dichtigkeit derselben $= 1$ angenommen, ist

$$\partial a \times a \partial \Theta \times a \operatorname{Sin.} \Theta \partial \varphi,$$

und die *vis viva* dieser Flüssigkeit in ihrer Bewegung oder $m v^2$ ist

$$\int\int\int \left(\frac{v r^2}{a^2} \operatorname{Cos.} \Theta\right)^2 a^2 \operatorname{Sin.} \Theta . \partial a . \partial \Theta . \partial \varphi .$$

Das Integral für φ muſs von 0 bis 2π, für Θ von 0 bis π und für a von r bis zum Unendlichen genommen werden. Hiernach wird

$$m v^2 = r^4 v^2 \int\int\int \frac{\partial a}{a^2} \operatorname{Cos.}^2 \Theta . \operatorname{Sin.} \Theta . \partial \Theta . \partial \varphi$$

$$= 2 \pi r^4 v^2 \int\int \frac{\partial a}{a^2} \operatorname{Cos.}^2 \Theta . \operatorname{Sin.} \Theta . \partial \Theta$$

$$= \frac{4 \pi r^4 v^2}{3} \int \frac{\partial a}{a^2} = \frac{4 \pi r^3 v^2}{3} .$$

Es folgt also, dafs $m = \frac{4\pi r^3}{3} = \mu$ und dafs

$$Mv^2 + \mu v^2 = 2g(M-\mu)(h-x)$$

sey. Hiernach wird

$$-\frac{v\partial v}{dx} \text{ oder } f = g\frac{M-\mu}{M+\mu} \text{ nahe } = g\left(1-\frac{2\mu}{M}\right),$$

und wenn also l′ die Länge des Secundenpendels in der Luft, l dessen Länge im leeren Raume bezeichnet, so ist

$$\frac{l'}{l} = \frac{f}{g} = \left(1-\frac{2\mu}{M}\right), \text{ mithin } l' = l\left(1-\frac{2\mu}{M}\right).$$

Der Coefficient also, womit die ältere Correction zur Reduction auf den leeren Raum multiplicirt werden mufs, beträgt hiernach 2; Bessel fand statt dessen 1,956, Baily aber aus seinen erwähnten Versuchen 1,864 für Kugeln von 1,5 Zoll Durchmesser und 1,748 für Kugeln von 2 Zoll Durchmesser. Challis meint, ein solcher Unterschied gehe nicht aus seinen eigenen Untersuchungen und auch nicht aus denen von Poisson[1] hervor, welcher auf die Reibung der Luft an der Oberfläche der Kugel Rücksicht genommen habe, auf welche letztere Bedingung die Aufmerksamkeit künftiger Forscher zu richten sey. Versuche geben nach ihm das einzige Mittel zur Auffindung der erforderlichen Correction für die Reduction des Pendels, und die Theorie könne in Verbindung mit diesen nur dazu dienen, die Ursachen aufzufinden, auf welchen diese Correction beruhe[2].

50) Fragen wir nach dem endlichen Resultate, welches durch alle diese vielen Untersuchungen erlangt worden ist, so unterliegt es wohl keinem Zweifel, dafs im Ganzen das Newton'sche Gesetz richtig und der Widerstand der flüssigen Mittel dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist. Weil aber

---

1 Vgl. Art. *Pendel* a. a. O.

2 Eine kurze Abhandlung von Clausen über den Widerstand gegen Pendellinsen, in Schumacher's astron. Nachr. 1826. N. 102 S. 94, möge hier nur angezeigt werden, weil sie blofse Formeln enthält, die keines Auszugs fähig sind. Die Idee, das Gesetz des Widerstandes der Luft mittelst aufsteigender Aërostaten aufzufinden, welche Meusnier (in Faujas de St. Fond Descript. des expéditions de la machine aërost. Par. 1793. p. 49, deutsch Leipz. 1784. S. 41) und Kramp (Geschichte der Aërostatik. Strafsb. 1784. Absch. 11 bis 16) hegten, ist an sich unhaltbar, weil sich das spec. Gewicht der Luftballons fortdauernd ändert, anderer Schwierigkeiten nicht zu gedenken.

gleichzeitig die nicht elastischen Flüssigkeiten vor dem bewegten Körper aufgestauet, die elastischen zusammengedrückt werden, hieraus aber ein neuer Gegendruck erwächst, welcher gleichfalls eine Function der Geschwindigkeit ist, sofern eine längere oder kürzere Zeit zur Herstellung des Gleichgewichts zu Gebote steht, so muſs hierdurch das genannte Gesetz eine Abänderung erleiden, und hierin dürfte der Grund liegen, weswegen das Gesetz für geringe Geschwindigkeiten ausreicht, für gröſsere aber durch die Erfahrung nicht bestätigt wird. Sehr wohl theoretisch begründet ist ferner das Gesetz, wonach der Widerstand dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule von der gegebenen Basis und einer zur Erlangung der gegebenen Geschwindigkeit erforderlichen Höhe proportional gesetzt wird. Man hat hierbei auf die Vertiefung des Wassers und die Verdünnung der Luft hinter dem bewegten Körper Rücksicht genommen, allein mir scheint hierbei Folgendes in Betrachtung zu kommen. Handelt es sich zuerst vom Wasser, so müſste (nach dem Verhalten der Pitot'schen Röhre) die Höhe des vor dem Körper aufstauenden und die Tiefe des hinter demselben sich senkenden Wassers zusammengenommen der Widerstand leistenden Säule gleich seyn, stände diesem nicht die Trägheit des ruhenden und durch den Körper in Bewegung zu setzenden Wassers entgegen. Bei den Bewegungen in der Luft muſs diese von dem Körper ebenso stark verdichtet, als hinter demselben verdünnt werden, wenn der berechnete Widerstand statt finden soll. Hiernach müſste also die Theorie mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmen, mit der alleinigen Ausnahme, daſs bei gröſseren Flächen das Abflieſsen, mindestens des Wassers, zur Seite mehr gehindert und daher hierfür ein eigener von 1 bis zu $1+x$ mit der Gröſse des Körpers wachsender Coefficient erforderlich sein würde. Von groſser Wichtigkeit ist indeſs der Umstand, daſs die von vorn zur Seite abflieſsende Flüssigkeit in den durch den Körper verlassenen Raum eindringt und vermöge ihrer Bewegung in Folge der Trägheit die Bewegung des Körpers befördert, mithin den Widerstand vermindert. Auch diese Gröſse als Function der Geschwindigkeit und der Fluidität der vorhandenen Flüssigkeit würde sich theoretisch bestimmen lassen, allein wenn auch hiernach Theorie und Erfahrung in vollkommenen Einklang zu bringen wären, so treten doch noch auſserdem Schwierigkeiten ein, welche nicht ge-

statten, das Problem mit absoluter Schärfe zu lösen. Dahin gehört nicht bloſs, daſs die Fluidität des Wassers und der Luft sich nicht mit der Temperatur ändert, sondern daſs beide an der Oberfläche der Körper adhäriren, und eine gewisse Kraft erforderlich ist, diese Adhäsion zu überwinden, wobei noch der Umstand hinzukommt, daſs das Hinflieſsen der Flüssigkeit über der Oberfläche des Körpers nach Beschaffenheit der Oberfläche leichter oder schwerer erfolgt, die innern Bewegungen nicht gerechnet, welche dadurch in der Flüssigkeit entstehen. Ebendieser Umstand erschwert auch die Bestimmung des Einflusses, welcher aus der Neigung der Fläche des bewegten Körpers gegen die Bahn seiner Bewegung statt findet, und es müssen daher, wie Challis richtig bemerkt, genaue Versuche die erforderliche Basis abgeben, damit die Theorie hierauf einen erschöpfenden analytischen Ausdruck bauen könne[1].

M.

Wind.

Ventus; Vent; *Wind.*

Hierdurch bezeichnet man im Allgemeinen alle Bewegungen der Luft von dem geringsten Luftzuge bis zu den gewaltsamsten, Alles verheerenden Strömungen. Die ungleiche Beschaffenheit dieser Luftbewegungen gab indeſs Veranlassung zu verschiedenen speciellen Bezeichnungen, die wegen ihres allgemeinen Bekanntseyns nur eine kurze Andeutung verdienen. Zuerst unterscheidet man sie nach den verschiedenen Richtungen, wonach es Ost-, West- u. s. w. Winde giebt, dann nach der Dauer, wonach sie beständige, periodische und veränderliche sind, ferner nach der Stärke, welche die Unterscheidung der sanften Winde, Stürme, Orcane, Typhons u. s. w. bedingt, endlich nach gewissen Eigenthümlichkeiten, wonach sie z. B. heiſse oder kalte Winde genannt werden. Es wird mir leicht werden, das Nöthige und Interessanteste über diese meteorologischen Phänomene zusammenzustellen, da durch die Bemühungen von

1 Für die Praxis dürften die von Tredgold gegebenen Formeln am besten zu benutzen seyn, weil die durch sie gefundenen Werthe mit den meisten und genauesten Versuchen am besten übereinkommen.

Kämtz eine ebenso vollständige als auch gründliche Bearbeitung dieser Aufgabe vorliegt. Um die Uebersicht der nachfolgenden Untersuchungen zu erleichtern, werde ich sie in einzelne Abtheilungen zerfällen.

A. Ursachen der Winde.

1) Eine Theorie der Winde dürfen wir bei den Schriftstellern des Alterthums nicht suchen, deren Dichter dieselben zu Söhnen der Riesen oder der Götter machten und ihnen, wie Homer, Virgil und andere, ihre speciellen Sitze an besonderen Orten, namentlich auf den äolischen und liparischen Inseln, anwiesen[1]. Diejenigen Schriftsteller, welche die Naturerscheinungen und deren Erklärung in den Bereich ihrer Untersuchungen zogen, haben über die Ursachen derselben verschiedene Hypothesen aufgestellt, die aber im Ganzen nur dazu dienen, ihren Mangel an genügenden Beobachtungen und darauf gegründeter Kenntniſs der Naturgesetze zu beurkunden[2]. Wenn sie daher auch mitunter das Richtige treffen, so deutet dieses mehr auf einen glücklichen Zufall und ein Erzeugniſs des ihnen allerdings nicht abzusprechenden Scharfsinnes, als auf das Resultat einer schulgerechten Forschung. Aristoteles[3] leitet die Winde im Allgemeinen von einem entstehenden trocknen Dampfe (*καπνός*) und seinem Verhältnisse zum nassen ab, und beschäftigt sich mit der Frage, ob sie in den oberen oder den unteren Regionen der Atmosphäre ihren Ursprung haben. Vor allen Dingen stellt er den Satz auf, daſs die Richtung der Winde vom Stande der Sonne abhänge, wonach also Südwinde entstehen, wenn dieser Himmelskörper zur Zeit der Frühlingsnachtgleichen sich der nördlichen, und Nordwinde, wenn er sich in den Herbstnachtgleichen der südlichen Hemisphäre zuwendet. Beim Aufgange der Sonne sollen die herrschenden Nordwinde nach NO., bei ihrem Untergange aber nach NW. übergehen. Nur wenig abweichend hiervon meint Theophrast[4],

1 Vergl. v. Lindenau in v. Zach Monatl. Correspondenz. Th. XIII. S. 249. Dove in Poggendorff's Ann. Th. XLII. S. 316.

2 S. Ideler Meteorologia veterum Graecorum et Romanorum. Berol. 1632. p. 55 ff. 103 ff.

3 Meteorologia Lib. III.

4 De ventis a. v. O.

die Winde entständen durch die Sonne, sofern diese, unter Mitwirkung des Mondes, durch ihre Wärme die Bewegung der Luft hervorrufe, wogegen ARISTOTELES ausdrücklich in Abrede stellt, dafs eine blofse Luftbewegung zu ihrer Erklärung genüge, und daher den vorausgesetzten trocknen Dampf zu Hülfe ruft. Die Meinung THEOPHRAST's kann immerhin als eine dem Wesen nach richtige gelten, wenn er annimmt, dafs die Luft von der Sonne angezogen werde, mithin nicht ruhen könne, sondern sich bewegen müsse, wobei zugleich die Sonne die Feuchtigkeit zerstreue und verdunsten mache und also auf jeden Fall eine gewisse Bewegung hervorrufe. DIODORUS SICULUS[1] meint, in Libyen sey die Luft bewundernswürdig ruhig, denn dort gäbe es keine Wälder, keine schattigen Thäler, keine hervorragenden Hügel, keine grofsen Flüsse und keine Fruchtfelder, daher auch keine Verdampfung, welche sämmtlich vereint die Winde als Luftbewegungen hervorriefen. HERODOT[2] theilt die einfache Bemerkung mit, dafs die Luft stets von der kälteren Gegend in die wärmere einströme, an welchen allerdings richtigen Satz MACROBIUS[3] die wunderlichsten Folgerungen knüpft. Minder deutlich drückt sich hierüber HIPPOKRATES[4] aus, wenn er sagt: Alle Winde müfsten vom Schnee, vom Eise, von sehr kalten Gegenden, Flüssen und Seen, so wie von feuchten und erkalteten Orten mit so viel gröfserer Stärke wehen (πνέειν ἀπὸ), je wirksamer diese Ursachen seyen. Die eigenthümlichen Eigenschaften der Winde leitet er dann nach nicht durchaus richtigen Principien von der Beschaffenheit derjenigen Orte ab, von denen sie herkommen oder über die sie vorher wehen.

2) Setzen wir zu den hier mitgetheilten Hypothesen noch die Aeufserungen der Alten, wonach die Winde blofse Bewegungen der Luft sind, so lassen sich die Vorstellungen Aller hierauf zurückbringen. ANAXAGORAS[5] hegte die richtige Ansicht, dafs die Winde durch Verdünnung der Luft in Folge ihrer Ausdehnung durch Wärme entstehen, ANAXIMANDER[6]

---

1 Biblioth. Lib. III. cap. 51.
2 Histor. L. II. cap. 27.
3 Saturnal. Lib. VII. cap. 8.
4 De victus ratione. Opp. L. II. Sect. IV. p. 21.
5 DIOGENES LAERTIUS. Lib. II. cap. 3.
6 ACHILLES TATIUS Isag. in Arat. c. 33.

dagegen leitet das Strömen der Luft theils von den Wolken, theils von einer Verdunstung der Erde (ἀναθυμίασις γῆς) her, und meint, die verschiedenen Bezeichnungen der Winde bezögen sich auf die Orte ihres Ursprunges (z. B. ἐκνεφίαι, die von den Wolken kommenden). Bei den lateinischen Schriftstellern finden wir bloſs die Aeuſserung, daſs der Wind eine Luftbewegung sey, z. B. bei Lucretius[1], Vitruvius[2], Seneca[3], Plinius[4], Isidorus[5] und andern. Interessant ist dabei die Wahrnehmung, wie die Zahl der Winde, von denen die Rede ist, bei den späteren Schriftstellern zunehmend wächst. Hesiodus[6] nennt nur zwei Winde, beide aus Thracien wehend, Homer[7] aber deren vier, und zwar so, daſs sich schlieſsen läſst, es seyen damals nur diese allein beachtet und besonders benannt worden. Später wurden acht unterschieden, wie Ideler[8] meint, weil der Auf- und Untergang der Sonne im Winter in eine andere Gegend fällt, als im Sommer. Später setzte man aber die vier neuen Winde zwischen die ersten vier Cardinalwinde, und hierauf bezog sich auch der von Andronicus Cyrrhestes zu Athen erbauete achteckige, den Winden gewidmete, Thurm, auf dem ein Triton stand, welcher mit einem Zeiger die Windrichtung andeutete[9]. Genau genommen war dieses also nichts weiter, als eine elegante und kostbare Windfahne. Aristoteles[10] nennt zwölf Winde, nach seiner Zeit aber werden sowohl bei den Griechen als auch bei den Römern mehrere Winde genannt und an den verschiedenen Orten nach den Gegenden, woher sie kamen, durch eigene Namen bezeichnet, die man ziemlich vollständig durch Plinius[11] aufgezeichnet findet.

3) Verdienen die hier mitgetheilten Aeuſserungen der Alten nicht eigentlich den Namen einer Theorie der Winde, so darf

---

1 De rer. natura. L. VI. v. 685.
2 De Architectura. Lib. I. c. 6.
3 Quaest. nat. L. V. c. 1.
4 Hist. nat. L. II. c. 44.
5 Origg. L. XIII. c. 11.
6 Theog. v. 379. 870.
7 Odyss. L. V. v. 295.
8 A. a. O. p. 67.
9 Vitruv de Archit. L. I. cap. 6.
10 Meteorol. L. II. cap. 6.
11 Hist. Nat. Lib. II. cap. 46.

Franz Baco[1] von Verulam (1560 bis 1626) als der erste Begründer derselben genannt werden. Auch bei dieser Aufgabe schlug jener merkwürdige Mann den richtigen Weg ein, indem er zur Lösung derselben Beobachtungen mit Experimenten verband. Nicht blofs beachtete er die Richtung der Winde, sondern zugleich auch ihren Zusammenhang mit den Hydrometeoren und der Temperatur. Er nennt die Sonne die vorzüglichste Erzeugerin der Winde, vorzugsweise der Passatwinde, indem ihre Strahlen die Luft mindestens um ein Drittel ihres Volumens ausdehnen und dadurch nothwendig Bewegung hervorrufen müssen. Da die Kraft der Sonnenstrahlen in der äquatorischen Zone am gröfsten ist, so mufs ihre Wirkung dort auch am gröfsten sein, und indem die Sonne sich von O. nach W. bewegt, die kältere Luft aber stets in den erwärmten Raum eindringt, so mufs hieraus der beständige Ostwind entstehn. Zur Prüfung der Sache stellte er eine Kohlenpfanne mit glühenden Kohlen in einen engen Thurm, erhitzte dadurch den innern Raum, und bemerkte, dafs die heifsere Luft aufstieg, leichte an Fäden hängende Körper aber in Bewegung gesetzt wurden. Hätte Baco die Richtigkeit des Copernicanischen Systems anerkannt, so würde er wohl ohne Zweifel namentlich die Passatwinde vollkommen genügend erklärt haben; da aber dieses nicht der Fall war, so setzte er hinzu, es sey auch möglich, dafs sich die Atmosphäre auf gleiche Weise, als der Himmel, täglich einmal um die Erde drehe und diese Drehung unter dem Aequator, wo sie am stärksten sey, auch am auffallendsten wahrgenommen werde. Selbst einen Einflufs des Mondes und der Sterne auf die Entstehung der Winde schliefst er nicht aus, weil bei Mondfinsternissen, Planetenconjunctionen und beim Aufgange grofser Gestirne lebhafte Winde zu herrschen pflegten. Auf die Hypothese einer Drehung der Atmosphäre scheint Baco indefs wenig Werth gelegt zu haben, auch fand sie später keinen Beifall, vermuthlich weil sich unter mittleren Breiten keine Spur davon zeigt, die Erwärmung durch die Sonne und das Fortschreiten derselben betrachtete aber später unter Andern auch Varenius als Ursache der Passate[2].

---

1 Historia naturalis et experimentalis de Ventis. 1664. In Bacon's Works by Shaw. Lond. 1733. 4. T. III. p. 441. Kämtz benutzte die Ausgabe Lugd. Bat. 1648. 12.

2 Geographia generalis. L. I. cap. 20.

4) Als die Rotation der Erde allgemeiner angenommen wurde, war es wohl natürlich, dafs man diese, schon wegen des durch die Neuheit der Sache erregten Interesses, als Ursache der Winde, und namentlich der Passatwinde, ansah, was dann auch durch Galilei, Cartesius, Rohault, Mersenne und andere gleichzeitige Physiker geschah[1]. Nach ihrer Ansicht erhielt das feinere, die Erde umgebende Fluidum ursprünglich nicht gleiche Geschwindigkeit, als dieser feste Körper, mufste daher bei der täglichen Rotation der Erde von West nach Ost zurückbleiben, mithin eine entgegengesetzte Bewegung annehmen und hierdurch einen beständigen Luftzug von Ost nach West erzeugen. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dafs in diesem Sinne die Axendrehung der Erde keinen Einflufs auf die Erzeugung der Winde haben kann, da die Atmosphäre, deren Höhe im Verhältnifs zum Erdhalbmesser so gering ist[2], durch ihre Adhäsion an die Oberfläche der Erde sehr bald eine mit dieser gleiche Geschwindigkeit der Bewegung erhalten mufs. Hiervon überzeugte sich Halley bald, da ihm noch obendrein sein mehrjähriger Aufenthalt zwischen den Wendekreisen die beste Gelegenheit gab, Beobachtungen, namentlich über die periodischen Winde, anzustellen, und er gab daher in seiner trefflichen Abhandlung[3] eine sehr vollständige Sammlung der merkwürdigsten beständigen und periodischen Winde, erläuterte die Richtungen derselben durch eine Charte, und stellte eine Theorie über ihren Ursprung auf, die noch jetzt mit einigen wesentlichen Modificationen als die herrschende betrachtet wird. Hiernach ist die Sonne die vorzüglichste Ursache der Winde, sofern durch eine anhaltende Erwärmung der Luft die Ausdehnung derselben bewirkt und dadurch eine Bewegung erzeugt wird. Die ausgedehnte leichtere Luft findet auf der Erdoberfläche einen unüberwindlichen Widerstand, mufs daher aufsteigen und oben seitwärts abfliefsen; in den verdünnten Raum derselben dringen die Luftmassen seitwärts ein, es entsteht hierdurch eine horizontale Strömung, und da die erzeugende Ursache stets von Ost nach West weiter rückt, so wird hierdurch die

---

1 Galilei betrachtet die Passate als einen Beweis für die Rotation der Erde. S. De Syst. Mundi Dialogi, Dial. IV. p. 327. ed. 1641.

2 Vergl. Art. *Meteorologie*. Bd. VI. S. 1989.

3 An historical account of the Trade-Winds and Monsoons. In Phil. Trans. 1686. N. 183. p. 153.

Richtung dieser Luftströmung bedingt und es entsteht ein perennirender Ostwind. Uebrigens hatte HOOKE[1] schon früher Strömungen der kälteren Polarluft zum Aequator hin angenommen und manche atmosphärische Erscheinungen daraus abgeleitet, wie sich leicht erklären läfst, wenn man berücksichtigt, dafs einem so gelehrten Physiker die Ansichten BACO's nicht wohl unbekannt seyn konnten. HALLEY's Theorie hat schon einen bedeutenden Grad der Vollständigkeit, da sie nicht blofs die unteren Passate erklärt, sondern auch das Abfliefsen der aufsteigenden Luftmassen berücksichtigt. Inzwischen findet hier offenbar eine Lücke statt; denn obgleich es heifst, dieses Abfliefsen zeige sich unzweifelhaft in dem Südwest-Passate, welcher an der Grenze des Nordost-Passates herrsche, so folgt dieses doch keineswegs aus der Theorie, vielmehr müfste hiernach die Luftströmung ihre ursprüngliche Richtung nothwendig beibehalten, nach ihrem Zusammentreffen mit der in entgegengesetzter Richtung strömenden gehoben werden und rückwärts abfliefsen. Diesen wesentlichen Mangel ersetzte HADLEY[2], indem er die Rotation der Erde als bedingend einführte, wonach also die von Norden herbeiströmende Polarluft, indem sie den Zonen stärkerer Rotationsgeschwindigkeit zugeführt wird, eine östliche Richtung erhalten mufs, die obere zurückfliefsende dagegen aus gleichen, aber entgegengesetzt wirkenden Ursachen eine westliche, woraus dann auf der nördlichen Halbkugel der untere NO., der obere SW., und auf der südlichen der untere SO., der obere NW. Passat entstehen mufs. Diese Theorie ist in der neueren und neuesten Zeit als genügend allgemein angenommen worden, ohne tiefer in die verschiedenen Ursachen einzugehn, welche nach den älteren Ansichten die Entstehung und die mannigfaltigen Veränderungen der Winde bedingen sollen, wie man diese z. B. durch MARIOTTE[3] und Andere angegeben findet.

5) Im Jahre 1730 setzte die Akademie der Wissenschaften zu Bordeaux einen Preis für die Bestimmung der Ursachen und Veränderungen der Winde aus, welchen SARRABAT[4] erhielt.

---

1 Posthumous Works. p. 364.

2 Philos. Trans. 1735. T. XXXIX. p. 58.

3 De la nature de l'air. In Oeuvres. Leide 1717. 4. p. 161.

4 Recueil des Prix de l'Academie de Bordeaux. T. III. Nach v. LINDENAU a. a. O. p. 261. Vergl. COTTE in Mém. T. I. p. 301.

Nach ihm sind die Ursachen der Winde theils cölestische, theils terrestrische; zu den erstern gehört aber bloſs die Sonne, deren Wirkungen er durch einen Versuch zu versinnlichen sich bestrebte. Er hielt demnach ein glühendes Eisen über eine Wasserfläche, auf welcher leicht bewegliche Körper schwammen, und da diese hierdurch in Bewegung gesetzt wurden, so schloſs er, die Sonnenstrahlen müſsten eine impulsive Kraft haben, vermöge welcher Flüssigkeiten von dem Puncte, wo sie von ihnen getroffen würden, sich wegbewegten. Hiernach müsse also die Luft sich durch Sonnenwärme erheben, die höheren Luftsäulen würden dann oben auf die umgebenden niederen herabflieſsen, hierdurch aber eine kreisförmige Bewegung in der Atmosphäre entstehn, um die Luftmassen zu ersetzen, die durch die Sonnenwärme erhoben wären. Diese Theorie, wonach eine dreifache Bewegung der Luft durch die Sonnenstrahlen, eine aufsteigende, herabflieſsende und drehende, erzeugt wird, und woraus viele Phänomene des Windes erklärbar sind, machte später Dupain de Nemours[1] bekannt und führte zugleich verschiedene Thatsachen zu ihrer Unterstützung an. Nach Sarrabat ist übrigens die Sonne nicht die einzige Ursache der Winde, sondern die Axendrehung der Erde wirkt zugleich mit, und hieraus lassen sich die Passate zwischen den Wendekreisen und die periodischen Winde unter mittleren Breiten erklären. Kommen noch andere bedingende Ursachen, als Dämpfe, ungleiche Temperaturen und Unebenheiten des Bodens, hinzu, so sind hierdurch die Ursachen gegeben, aus denen sich die Winde des Mittelmeeres und die Moussons des indischen Oceans ableiten lassen. Die veränderlichen Winde endlich beruhen nach seiner Ansicht noch auf verschiedenen, zu diesen allgemeinen hinzukommenden Ursachen, unter denen Verdichtungen der Luft, aufsteigende Dämpfe, entzündete Ausdünstungen, Wolken, Regen, theils durch das herabfallende Wasser, theils durch Erkältung, ungleiche Erwärmung, theils an demselben Orte wechselnd, theils an verschiedenen Puncten gleichzeitig statt findend, Erschütterungen der Luft, Hindernisse durch Berge, Häuser und sonstige Gegenstände und andere mehr die wichtigsten sind.

---

1 Trans. of the American Phil. Soc. held at Philadelphia. T. VI. P. 1. Vergl. Mon. Corr. Th. XI. S. 260.

6) Eine durch ihre Einfachheit und die Eleganz des Calcüls sehr ansprechende Theorie der Winde gab D'ALEMBERT[1]. Hiernach werden die Oscillationen der Atmosphäre auf gleiche Weise, als Fluth und Ebbe des Meeres, durch die Attraction des Mondes und der Sonne hervorgebracht. Die Wirkungen dieser Kraft sind zwar, wie er findet, viel zu schwach, um einen Einfluſs auf das Barometer zu äuſsern, dennoch aber vermögen sie den beständigen Ostwind zu erzeugen, und wenn dieser einmal vorhanden ist, durch nicht allezeit naturgemäſs von ihm angenommene Modificationen die veränderlichen Winde hervorzurufen. Diese Theorie hat nicht eben viele Anhänger gefunden, in v. LINDENAU[2] aber neben gebührender Anerkennung ihrer Verdienste einen überlegenen gewiegten Gegner. Abgesehn von dem Umstande, daſs die Elasticität der Luft vernachlässigt und eine etwas willkührliche Approximation gebraucht worden ist, daſs es unendliche Schwierigkeiten hat, aus den gefundenen Ausdrücken die Stärke und Richtung des Windes herzuleiten, und daſs die in beiden Halbkugeln herrschenden Nord- und Westwinde sich gar nicht aus ihr herleiten lassen, stellt er ihr noch folgendes unwiderlegliches Argument entgegen. Sollten die Strömungen der Luft auf gleiche Weise, als Ebbe und Fluth durch die Anziehung des Mondes und der Sonne erzeugt werden, so hat LA PLACE[3] nachgewiesen, daſs eine zunehmende Tiefe des Meeres die Höhe der Fluth vermindert. Da aber die Höhe der Atmosphäre ungleich beträchtlicher ist, als die Tiefe des Meeres, so müssen auch die Oscillationen der Luft viel kleiner seyn. Auſserdem sind die obersten Schichten der Luft ausnehmend dünn und haben so wenig Adhäsion unter einander, daſs sie füglich einen nicht unbedeutenden Druck erleiden können, ohne dadurch merklich afficirt zu werden, und da die Erfahrung der Taucher, so wie die Theorie nach LA GRANGE[4], gelehrt haben, daſs die Bewegungen eines Fluidums bloſs dessen Oberfläche treffen und sich nicht bis zu bedeutender Tiefe erstrecken, so kann schon aus diesem Grunde die Gravitation auf die Bewegungen der

---

1 Réflexions sur la cause générale des vents, pièce qui a remporté le prix par l'Acad. Roy. de Prusse pour l'année 1746. Berl. 1747. 4.

2 Monatl. Correspondenz. Th. XIII. S. 262.

3 Mécanique céleste. T. II. p. 201.

4 Mécanique analytique. p. 491.

Atmosphäre keinen bedeutenden Einfluſs haben[1]. Nach den Untersuchungen, welche La Place[2] hierüber angestellt hat, kann die Geschwindigkeit der hierdurch erzeugten Luftbewegung nicht gröſser seyn, als 33,388 Linien in einer Secunde, und kommt also gar nicht in Betrachtung, wenn von Winden die Rede ist.

7) Die meisten Physiker richteten ihre Aufmerksamkeit vorzugsweise auf die Passatwinde, und bemüheten sich, diese zu erklären; ihre Ansicht ging aber fast ohne Ausnahme dahin, daſs die Sonne durch die Erwärmung des Bodens und der Luft sie hervorrufe und diese also als die vorzüglichste, wenn nicht einzige Ursache derselben anzusehn sey. Für diese Hypothese erklärt sich Mylius[3], dessen Abhandlung neben der erwähnten von D'Alembert das Accessit von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Berlin erhielt. Auch hierin werden vorzüglich die Passatwinde berücksichtigt, deren Erklärung keine Schwierigkeiten verursacht, die periodischen Winde (Moussons) aber, die er genau beschreibt, hält er in Beziehung auf die beständigen für etwas Aehnliches, als den Mangel an Ebbe und Fluth im mittelländischen Meere. Auch de la Coudraye hält in seiner von der Akademie zu Dijon im Jahre 1785 gekrönten Preisschrift[4] die Sonne für die einzige Ursache der Winde. Es können ferner noch die im Wesentlichen hiermit übereinstimmenden Abhandlungen von Colepress[5], von Garden[6], von Wargentin[7], von Strahl[8] und einigen Andern genannt werden, deren ausführliche Erörterung jedoch der Mühe nicht werth seyn dürfte.

8) Wichtiger dagegen sind die Ansichten, welche Mus-

---

1 Obgleich der Satz richtig ist, daſs der Mond keine merkliche Fluth und Ebbe der Atmosphäre erzeugt, s. Art. *Meteorologie* Bd. VI. S. 1898, so ist doch der Grund, worauf er gestützt wird, daſs nämlich die Bewegungen des Wassers nicht in die Tiefe dringen, durch neuere Beobachtungen und Versuche widerlegt worden. Vergl. Art. *Wellen* a. v. O.

2 Mécan. célest. T. II. p. 297.

3 Versuch einer Bestimmung der Gesetze der Winde. Berlin 1840.

4 Théorie des Vents. Fontenay 1786. 8.

5 Philos. Trans. N. 26.

6 Philos. Trans. 1685. T. XV. N. 175.

7 Schwed. Abhandl. von 1762. T. XXIV. p. 173.

8 Leipz. Samml. zur Physik u. Naturgesch. T. II. St. 5. S. 575.

schenbroek[1] über die Ursachen der Winde hegte, weil dieser Gelehrte später allen Physikern als Autorität galt. Er theilt die Winde in vier Classen, beständige, periodische, See- und Landwinde und veränderliche. Die Ursachen der beständigen sind vorzugsweise die Sonne, in Folge der Erwärmung der Luftmassen, auf welche ihre directen Strahlen fallen, und die dadurch zum Aufsteigen vermocht werden, wonach dann ihre oberen Theile seitwärts abfliefsen, die umgebenden kälteren aber in die verdünntere eindringen müssen, und da dieser Procefs von Osten nach Westen fortschreitet, so ist hierdurch die Richtung dieses Windes von selbst gegeben. Hierzu kommen dann die warmen, elektrischen und elastischen Dämpfe, die in Menge aus dem erwärmten Meere aufsteigen und hierdurch die Hauptursache unterstützen. Die Meinung, dafs der Passatwind durch die Rotation der Erde erzeugt werde, verwirft er hauptsächlich wegen der grofsen Geschwindigkeit dieser Axendrehung im Verhältnifs zu der der Winde, und die Hypothese von der Erzeugung derselben durch den Mond aus dem Grunde, weil er sonst seine Richtung in jedem Monate zweimal ändern müfste. Ueber die Ursachen der periodischen Winde will er lieber seine Unwissenheit bekennen, als eine gewagte Hypothese aufstellen, glaubt aber, dafs mehrere Ursachen zusammenwirken, als die Lage der Berge, die in gewissen Perioden wiederkehrenden Ausdünstungen, Schmelzen des Schnees, Erwärmung des Bodens und verschiedene andere noch unbekannte, vielleicht auch solche, die unter dem Meere aus der Erde hervorbrechen, wie diejenigen, die den indischen Ocean zu gewissen Zeiten milchig und leuchtend machen. Die Land- und Seewinde leitet er richtig von der ungleichen Temperatur her, die im täglichen Wechsel über der See und über dem Lande herrscht. Die Ursachen der veränderlichen Winde theilt Musschenbroek in vier Classen, indem sie sich unter der Erde, auf der Oberfläche derselben, im Luftkreise oder endlich über demselben befinden. Zahlreiche Beobachtungen zeigen uns unterirdische Winde, die aus den Aeolushöhlen hervorbrechen. Als Ursachen derselben lassen sich ungleiche Erwärmung und Erkältung in communicirenden Gängen, Zusammendrückung der Luft durch herabfallendes Wasser, unterirdisches Feuer, Erdbeben, Ein-

1 Introd. in Phil. Nat. T. II. §. 2548 ff.

dringen der äufseren Winde in Höhlungen und Gänge angeben[1]. Auf der Erde giebt es unzählbare Ursachen, welche Luftbewegungen erzeugen, als die Wellen des Meeres, Ebbe und Fluth, grofse Ströme, aufsteigende Dünste, starke Feuer und Explosionen, Schmelzen des Schnees, Lavinen, Gährung und Fäulnifs, entwickelte elastische Medien u. s. w. Die vorzüglichsten Ursachen sind in der Luft selbst enthalten, die Verdichtung und Verdünnung derselben durch Wärme und Kälte, Aufsteigen der Dünste und Herabfallen des Regens, Ausdehnung und Zusammendrückung der Wolken, Luftelektricität, Erkältung der Luft durch den Schatten der Wolken und das Aufbrausen verschiedener einander begegnender Ausdünstungen, wodurch elastische Materien erzeugt werden, endlich der Blitz, welcher die Luft aus der Stelle treibt und andere veranlafst, sich in deren verlassenen Raum zu stürzen. Ueber der Atmosphäre wirken zur Erzeugung der Winde die Anziehung der Sonne und vorzüglich des Mondes, welche auf den Luftkreis in gleicher Weise, als auf das Meer wirken.

9) Als der Urheber der in den neuesten Zeiten gangbaren Theorie der Winde ist wohl de Luc[2] zu betrachten, welcher übrigens die Vorarbeiten Halley's und Hadley's nicht unbenutzt liefs. Hiernach ist der jährliche und tägliche Lauf der Sonne in Folge der dadurch bewirkten Erwärmung der Luft Hauptursache der Winde, indem die erhitzten und ausgedehnten Luftmassen aufsteigen und oben abfliefsen, unten aber die kälteren an ihre Stelle treten. Die letzteren kommen von den Polen her und haben unter höheren Breiten eine weit geringere Rotationsgeschwindigkeit, als welche sie in der äquatorischen Zone anzunehmen gezwungen werden; sie erhalten dadurch eine dieser Richtung entgegengesetzte Bewegung, und daher müssen die von Norden zum Aequator strömenden Massen, so wie die vom Südpole dahin gelangenden, nach Westen hin abfliefsen, mithin den nach dem Stande der Sonne modificirten beständigen Ostwind erzeugen. Die vom Aequator in den oberen Regionen

1 Nach F. Knoll brechen solche auch zuweilen unter dem Meere hervor und bewirken dessen Wallen und Aufbrausen. S. Wundererscheinungen, ins Licht gesetzt u. s. w. Langensalza 1785. 8.

2 Neue Ideen über die Meteorologie. A. d. F. Berl. u. Stett. 1788. 8. Th. II. §. 820 ff.

in die nördlichen Parallelkreise übergeführten Luftmassen müssen aus dem nämlichen, hierbei umgekehrt wirkenden, Grunde eine Richtung nach Osten annehmen, und hierdurch mufs ein Südwestwind erzeugt werden, während auf der südlichen Halbkugel ein Nordostwind entsteht. Weil aber die Winde keineswegs so regelmäfsig sind, als sie hiernach seyn müfsten, so können wir nicht umhin, noch andere und wirksamere Ursachen aufzusuchen. Hierzu gehören ohne Zweifel Ausdünstung und Regen, wie man auch daraus entnehmen kann, dafs letzterer in der Regel von Stürmen begleitet ist. Beide Ursachen hatte schon vorher de Saussure[1] zur Erklärung gewisser Winde benutzt, indem er glaubte, dafs theils die elastischen Dünste bei ihrer plötzlichen Verdichtung zu tropfbarem Wasser leere Räume erzeugten, theils der Regen selbst wieder elastischen Dampf bilde und dadurch eine merkliche Ausdehnung der Luft erzeuge. Gegen diese in ihrem ersten Theile wohl über jeden Zweifel erhabene Ansicht meinte aber de Luc in Gemäfsheit seiner bekannten Theorie vom Regen, dafs die gewöhnliche Art, die Verdunstung des Wassers und die Entstehung des Regens zu betrachten, zur Erklärung der gewaltigen Stürme, wie sie oft den Gewittern und Platzregen vorausgehn, nicht genüge, und er suchte daher die Ursache der starken Windstöfse in denjenigen Verwandlungen, die nicht selten in der Atmosphäre statt finden. Wenn die Dünste, die sich durch gewöhnliche Verdunstung in den Luftkreis erhoben haben, eine Zeitlang daselbst in Luftgestalt befindlich waren, so verwandeln sie sich vielleicht plötzlich wieder mit grofser Volumensvermehrung in Dunst und dieser verdichtet sich dann mit starker Abnahme des Volumens zu tropfbarem Wasser. Diese schnellen und beträchtlichen Veränderungen des Volumens sind vermögend, die Stürme und Windstöfse begreiflich zu machen, die man bei plötzlicher Bildung der Wolken und bei heftigen Regengüssen beobachtet. De Luc denkt sich ferner die Wolken nicht als bleibende Massen, sondern als vorübergehende Phänomene, welche alle Augenblicke zerstört und wieder erneuert werden, woraus sich dann die so lange anhaltenden Winde erklären lassen, von denen sich nach seiner Meinung nicht wohl Rechenschaft geben läfst, wenn man der ge-

1 Essays sur l'Hygrométrie. Essay IV. §. 283.

wöhnlichen Theorie von der Verdampfung und dem Niederschlage huldigt und nicht der seinigen von einer Verwandlung des Wassers in eine eigentliche Luftart beipflichtet.

10) Ungleich mehr Beifall, als sie eigentlich verdiente, hat die von Hube[1] aufgestellte Theorie erhalten. Hiernach sind Verschiedenheit in der Erwärmung durch die Sonne, Verdunstung und Elektricität die Hauptursachen der Winde. Die kalte Luft der Pole strömt nach den wärmeren Gegenden und erhält durch die Axendrehung der Erde eine Richtung von Ost nach West, daher auch auf dem Eismeere Ostwinde herrschen. Unsere Ostwinde im Frühling kommen aber von den nach Osten liegenden kalten Ländern, die insbesondere im Frühjahr ihre geringe Temperatur noch länger beibehalten. Auf dem mittelländischen Meere herrscht Ostwind wegen der Gebirge auf der Küste Syriens, die südlichen Winde auf dem arabischen Meerbusen im Winter kommen wahrscheinlich von den hohen Gebirgen Abyssiniens. In unsern Gegenden brechen im Sommer Winde aus beschatteten Thälern zwischen hohen Bergen oder aus Oeffnungen tiefer Berghöhlen hervor, die mit zunehmender Wärme des Tages heftiger werden, bei Nacht aber aufhören. Die Abkühlung der Luft durch Wolken erzeugt Winde, und wenn ein District mehr von Gewölk beschattet, oder in Folge häufigerer Regen kälter ist, als ein anderer, so erheben sich vorzüglich im Sommer zwischen beiden Winde, die sich gegen Abend legen und am andern Tage wieder beginnen.

Aus dem Entstehen mancher Winde und zur Erklärung der Barometerschwankungen entnimmt Hube eine ihm eigenthümliche Hypothese der Verdunstung. Hiernach soll es zwei Arten derselben geben; bei der ersten wird die Elasticität der Luft merklich erhöht, die zweite geht langsamer von statten und eine Vermehrung der Elasticität der Luft findet nicht statt. Inzwischen würde es überflüssig seyn, die Versuche, die er zur Begründung dieser Hypothese anführt, näher zu prüfen, da schon Gehler[2] bei der damals noch unvollkommenen Kenntniſs des Verdunstungsprocesses und ungeachtet des Beifalls, wel-

---

1 Ueber die Ausdünstung und ihre Wirkungen in der Atmosphäre. Leipz. 1790. 8. Kap. 57 bis 68. Vollständiger und faſslicher Unterricht in der Naturlehre. Leipz. 1793. 8. Br. 34 bis 37.

2 Wörterbuch a. A. Th. V. S. 93.

chen er diesen Sätzen zollt, dennoch eine Menge Zweifel dagegen aufstellt. In Gemäſsheit dieser Theorie sollen verschiedene Winde aus schnellen und starken Verdunstungen der ersten Art entstehn, wobei die Luft ihre eigenthümliche Schwere behält, oder wohl gar durch die Auflösung des Wassers abgekühlt noch schwerer wird und daher von unten dahin abflieſst, wo sie den geringsten Widerstand findet. Auf diese Weise entstehn die Schneewinde und Winde aus regnenden Wolken, die über eine heiſse, trockne und stille Luft hinziehn, wie auch bei stillem und starkem Regen, wenn die Wolken sich zertheilen, und in der Nähe der Wasserfälle. Der merkwürdigste Wind dieser Art ist der schwache Ostwind, welcher sich kurz nach Sonnenaufgang zu erheben und eine oder zwei Stunden anzuhalten pflegt. Er ist stets, vorzüglich aber im Winter, kalt, in bergigen Gegenden häufiger, und meistens bloſs auf dem festen Lande zu bemerken. Hube erklärt diese bekannte Luftströmung (§. 28) auf folgende Weise. Die Luft wird über dem festen Lande nach heiteren Tagen während der Nacht in der Tiefe viel kälter, als oben, und dadurch wird die Ziehkraft (in Beziehung auf die Verdunstung, indem die Luft den Wasserdampf anziehn soll) der oberen und unteren Luft gröſser, als sie auſserdem seyn würde. Die vielen noch nicht ganz aufgelösten Wassertheilchen, womit die untere Luft durch die Ausdünstung der ersteren Art am Tage angefüllt ist, steigen bei Nacht in die Höhe, häufen sich daselbst an, werden von den ersten Strahlen der noch nicht über den Horizont gekommenen Sonne getroffen und nebst der Luft, in der sie hängen und deren Ziehkraft dadurch wächst, erwärmt; die Luft löst sie auf die erste Art auf, wird dadurch plötzlich ausgedehnt, kälter und specifisch schwerer, fällt daher mit Wassertheilchen beladen herab und erkältet die untere Luft. Dieses Herabfallen geschieht aber nicht in lothrechter Richtung, sondern mit einer Neigung nach Westen, weil auch die wirkende Ursache in dieser Richtung fortschreitet; es entsteht ein schwacher Ostwind, welcher aber nur wenige Stunden anhält, weil die untere Luft später erwärmt wird und sich stärker ausdehnt, als die obere. Uebrigens befördert dieser schwache Ostwind den Morgenthau, und bewirkt, daſs die Kälte vor Sonnenaufgang von oben auf die Erde herabzusteigen scheint. Endlich giebt es nach Hube in allen kalten Ländern noch eine Art

Winde, die bald aus dieser, bald aus jener Gegend kommen, sich oft über hundert Meilen hin erstrecken, zuweilen sehr heftig sind und nicht selten eine wärmere Luft herzuführen. Sie lassen sich weder durch Erkältung, noch durch Ausdünstung erklären, weil sie im ersten Falle nie wärmere Luft herbeiführen, im zweiten sich nicht so weit erstrecken könnten, und da sie sich nie in heifsen Ländern finden, müssen sie eine besondere, den kälteren Ländern eigene Ursache haben. Diese soll nun die Elektricität seyn, von welcher angenommen wird, dafs sie die Spannung der in der Luft aufgelösten wässerigen Dünste, jedoch blofs der Dünste zweiter Art, ansehnlich verstärke.

Man ersieht aus dieser kurzen Darstellung einer sehr ausführlichen Untersuchung, dafs Hube weder eine hinlängliche Kenntnifs der Thatsachen besafs, noch auch die Erscheinungen mit genügendem Scharfsinn auffafste, in der Wahl der Hypothesen sehr dreist zu Werke ging, und dann zur Aufrechthaltung derselben zu sehr willkürlichen, anerkannten Naturgesetzen mitunter widerstreitenden Voraussetzungen seine Zuflucht nahm. Dieses zeigt sich in allen Erklärungen, mit Ausnahme der von den Passatwinden, die jedoch schon vorher bestand.

11) Nachdem das bisher Mitgetheilte vorausgegangen war, wozu man aufserdem noch die Bemühungen von Franklin[1], Prevost[2], Cotte[3] (durch den reichen Schatz der von ihm gesammelten Thatsachen), insbesondere aber von Romme[4] zählen kann, minder bedeutende Arbeiten nicht zu erwähnen, unternahm v. Lindenau[5] die Begründung einer genügenden Theorie der Winde. Um hierbei die zahllosen Nebenbedingungen auszuschliefsen und die Hauptgesetze unabhängig von diesen aufzustellen, nimmt er vorläufig die Erde als allgemein von Wasser umgeben und die feinere Atmosphäre über diesem ruhend an, welche beide Flüssigkeiten mit einander in der genauesten Verbindung stehn, indem wässerige Feuchtigkeiten durch Condensation der Dämpfe in der Atmosphäre und wie-

1 Philos. Trans. 1765. p. 182.
2 Journ. de Phys. T. XXXVIII. p. 365. 370.
3 Traité de Météorologie Par. 1774. Mémoires. Eb. 1789.
4 Tableaux des Vents, des Marées et des Courans. Par. 1806.
5 Monatl. Corresp. Th. XIII. S. 435.

derum Dämpfe durch Expansion aus dem Meere entstehn. Dieses vorausgesetzt und zugleich angenommen, dafs alle in den Luftschichten beobachteten Bewegungen blofs als Folgen des gestörten Gleichgewichts anzusehn sind, ohne welche stets vollkommene Ruhe statt finden würde, ist die Bestimmung dieser Störungen und ihrer Ursachen der eigentliche Gegenstand der Untersuchungen. Hiernach lassen sich als wirkende Kräfte vorzugsweise ansehn:

1) Die Rotation der Erde,
2) Verdichtung und Verdünnung der Atmosphäre durch Sonnenwärme,
3) allgemeine Bewegungen des Meeres,
4) Gravitation des Mondes.

In Folge der Ausdehnung der Luft durch Wärme in der heifsen Zone mufs die dichtere Luft von den Polen her nach dem Aequator strömen, und weil diese unter höheren Breiten eine geringere Rotationsgeschwindigkeit hat, als unter niederen, so mufs sie in der Richtung nach Westen zurückbleiben und daher einen Ostwind erzeugen. Durch eine nicht schwierige Berechnung läfst sich dann finden, wie grofs die Geschwindigkeit dieser Bewegung seyn mufs, was ich jedoch hier übergehe, da diese Bestimmung von der Geschwindigkeit der Bewegung vom Pole zum Aequator und von dem Einflusse der auf dieser Bahn befindlichen Luftmassen herrührt, welche beide Gröfsen nicht wohl genau zu ermitteln sind. Angenommen es betrüge die Geschwindigkeit der Bewegung von Nord nach Süd 18 Fufs in einer Secunde, so würde die östliche Strömung vom 18ten Breitengrade bis zum 20sten nur 12 Fufs in einer Secunde, und bis zum 19ten Grade nur 5 Fufs betragen, woraus hervorgeht, dafs diese Ursache allerdings zur Erzeugung eines beständigen Ostwindes mitwirken, stärkere Ostwinde aber auf keine Weise erzeugen kann. Weit beträchtlicher sind die Wirkungen der Dilatation der Luft durch die Wärme, und zwar mufs man, um die Stärke und Direction der hierdurch unter den vorausgesetzten Bedingungen erzeugten Winde zu bestimmen, theils die Differenz der Temperatur in verschiedenen Parallelen, theils die tägliche eines gegebenen Ortes oder die in demselben Parallel unter verschiedenen Meridianen statt findende zu bestimmen suchen. Ist dieses geschehn, so folgt aus dem Laufe der Sonne von Ost nach West, dafs alle westliche

Puncte einen höheren Wärmegrad, als die östlichen, und daher alle regelmäſsige Winde eine Richtung von Ost nach West erhalten, wobei es sich wohl von selbst versteht, daſs die nächtliche kältere Temperatur auf diese Richtung keinen Einfluſs haben kann. Ohne in eine eigentliche Discussion dieses Problems einzugehn, erklärt sich v. Lindenau bestimmt gegen die Ansicht, wonach die regelmäſsigen Winde bloſs durch die Axendrehung der Erde erzeugt werden sollen. Aus der Dilatation der Luft durch die Wärme unter dem Aequator folgt einfach, daſs eine östliche und eine nördliche Luftströmung entstehn muſs. Wollte man diese genauer bestimmen, so müſste das Gesetz der ungleichen Verbreitung der Wärme auf der Erde dabei zum Grunde gelegt werden. Diese Aufgabe betreffend bezieht sich v. Lindenau nur kurz auf die Arbeiten von Halley, L. Euler und hauptsächlich Fontana, hält sich aber zuletzt an die bekannte Formel von Tob. Mayer; es ist indeſs bereits[1] ausführlich gezeigt worden, daſs es ein solches allgemeines Gesetz gar nicht giebt, weil auſser dem Auffallwinkel der Sonnenstrahlen eine Menge örtlicher Bedingungen einen so vielfachen Einfluſs ausübt, daſs in den hierüber zu suchenden analytischen Ausdruck auch ein Coefficient der Länge eingeführt werden muſs, und es auch dann noch fraglich bleibt, ob sich ein den Erfahrungen völlig genügender auffinden läſst. Die dritte Ursache der Winde, nämlich die Bewegung des Meeres, liegt sehr nahe. Aus dem Meere steigen fortwährend Dämpfe in die Atmosphäre auf, und die letztere muſs daher eine mit der Richtung jener übereinstimmende Bewegung annehmen, also der Meeresströmung folgen. Durch die Rotation der Erde und die Einwirkung der Sonne wird aber das Gewicht des Wassers unter dem Aequator stets vermindert, und auſserdem steigt eine bedeutende Menge als Dampf auf, die Gesammtmasse desselben wird dadurch verringert, statt daſs sie unter den Polen durch Niederschläge zunimmt; es entsteht somit der bekannte Polarstrom und hierdurch die westliche Strömung des Meeres unter dem Aequator, welche dann den Ostwind daselbst bedingt. Die Anziehung des Mondes endlich übt allerdings einen Einfluſs auf die Oscillationen der Atmosphäre aus, allein wenn dieser auch dreimal so groſs als der der Sonne angenommen

1 S. Art. *Temperatur*. Bd. IX. S. 500.

wird, so ist dennoch die durch beide Himmelskörper erzeugte Wirkung so gering, daſs sie sich in den übrigen atmosphärischen Anomalieen verliert.

12) Der Plan, dessen Ausführung v. LINDENAU[1] sich vorgenommen hatte, dessen vollständige Ausführung aber wahrscheinlich wegen der unermeſslichen damit verbundenen Schwierigkeiten unterblieben ist, war vortrefflich. Er beabsichtigte nämlich eine aus den vier genannten Ursachen und unter der Voraussetzung einer überall vom Meere bedeckten Erdoberfläche entwickelte Theorie der Winde aufzustellen, die hieraus hervorgehenden Resultate als die mittleren und die durch Erfahrung gegebenen als Modificationen oder auf gewisse Weise als Perturbationen zu betrachten, und deren Ursachen dann aufzusuchen. Wenn man aber berücksichtigt, um wie viel die Masse der Thatsachen seitdem (seit 1806) durch die zahlreichsten Beobachtungen der neueren Zeit vermehrt worden ist, so begreift man leicht, daſs dieser mit Ueberlegung und Sachkenntniſs entworfene Plan damals noch gar nicht genügend zur Ausführung kommen konnte. Absichtlich beschränkte sich daher v. LINDENAU nur auf die Untersuchung der Wirkungen, welche die angegebenen vier Ursachen in Beziehung auf Erzeugung und Richtung der Winde haben, wobei die Anziehung durch Mond und Sonne als verschwindend gar nicht in Betracht kommt. Betrachtet man die übrigen drei Ursachen näher, so beruhn sie alle auf dem Einflusse der Wärme durch die Sonne, sofern diese die Luft unter dem Aequator aufsteigen macht und zugleich die Wirkung der Rotation unserer Erde auf die von den Polen zum Aequator strömenden sowohl Luftmassen, als auch Wassermassen durch die Ungleichheit der Temperaturen der verschiedenen Zonen bedingt, wie nicht minder die Verdampfung des Meeres, die als dritte Ursache genannt ist. Hieraus wird die Möglichkeit einer Theorie der Windströmungen als Functionen der Wärme anschaulich, und es kommt daher nur darauf an, das Verhältniſs zwischen Wärme, geographischer Breite und Declination der Sonne allgemein zu bestimmen. Wäre dieses geschehn, so müſste man zur Bestimmung der Ausdehnung der Luft durch die Wärme und der Stärke der Verdunstung des Meeres unter verschiedenen Breiten übergehn,

1 Monatl. Correspondenz. Th. XV. S. 40.

um die Theorie der atmosphärischen Störungen durch Entwickelung dieser drei Functionen zu begründen. v. Lindenau bemüht sich dann, die *Maxima der Wärme* in den Sommermonaten, *die Zeiten der gröfsten täglichen und jährlichen Wärme* und *das Verhältnifs der jährlichen Wärme der verschiedenen Zonen* für die nördliche Halbkugel von 0° bis 60° der Breite aufzufinden, die er in Tabellen zusammenstellt; es ist aber oben[1] bereits gezeigt worden, dafs alle frühere Bemühungen dieser Art mifslingen mufsten, weil die Auffindung der Isothermen durch Al. v. Humboldt der ganzen Aufgabe eine durchaus veränderte Gestalt gab. Es genügt daher hier, aus verdienter Achtung gegen den grofsen Gelehrten den Gang zu bezeichnen, den er zur Erhaltung jener Resultate gewählt hat. Er nimmt nämlich an, dafs das Differential der Sonnenwärme dem Producte aus dem correspondirenden Zeitmomente in den Cosinus der Zenithdistanz der Sonne gleich sey. Wird dann für die Zenithdistanz die Polhöhe, die Declination und der Stundenwinkel substituirt, und bezeichnet man diese Gröfsen durch λ, δ und z, so wird nach gehöriger Integration und Bestimmung der Constante unter der Bedingung, dafs beim Sonnenaufgange h dem halben Tagebogen gleich ist, die Sonnenwärme für jeden Stundenwinkel z durch den Ausdruck:

$$(\text{Sin.}h - \text{Sin.}z)\,\text{Cos.}\lambda\,\text{Cos.}\delta + (h - z)\,\text{Sin.}\lambda\,.\text{Sin.}\delta$$

gefunden. Bis so weit folgt v. Lindenau den Bestimmungen, welche Fontana[2] hierüber aufgestellt hat, bei den folgenden Untersuchungen aber, wobei es darauf ankam, die Stunde der gröfsten Hitze an einem gegebenen Tage und den Tag der gröfsten Wärme im Jahre zu finden, wich er von diesem ab, der hierzu die gewöhnliche Methode der Differentiation benutzte, und ging vielmehr zur Vermeidung transcendenter Gleichungen von dem Grundsatze aus, dafs das Moment der gröfsten Wirkung jederzeit dann eintritt, wenn die Summe der wirkenden Kräfte durch die Zahl der correspondirenden Zeiträume dividirt ein Maximum giebt. Da die Berechnung selbst nicht mitgetheilt worden ist, so genügt es hier nur zu bemerken, dafs die auf diese Weise theoretisch gefundenen Werthe wirklichen Beobachtungen angepafst werden; allein man weifs jetzt nach

---

1 S. Art. *Temperatur*. Bd. IX. S. 502 ff.

2 Meditationes physico-mathem. p. 1 sqq.

den bereits erwähnten ausführlichen Untersuchungen über die Temperaturverhältnisse der verschiedenen Orte unserer Erde, dafs ein solches allgemeines Gesetz mit der Erfahrung nicht übereinstimmt und demnach auch keine Theorie der Winde darauf gestützt werden kann.

13) Die hier in genügender Vollständigkeit aufgeführten Versuche zur Erklärung des Ursprungs der Winde gehn im Grunde nicht weit über dasjenige hinaus, was Hadley[1] bereits geleistet hat. Nach seiner Ansicht nehmen wir an, dafs durch die Erwärmung der Erde und der Luft in der äquatorischen Zone die letztere aufsteigt, die zu beiden Seiten an sie grenzende in den verdünnten Raum eindringt, wodurch dann ein stetes Zuströmen der kalten Polarluft zum Aequator und ein Abfliefsen der erwärmten Luft nach den Polen hin statt finden mufs, dafs hieraus und aus dem Zurückbleiben der herzuströmenden Luft bei ihrem Eintritte in eine schneller rotirende Zone der Erde oder ihrem Voreilen beim Anlangen in eine langsamer rotirende in der heifsen Zone die Passate, durch örtliche Einflüsse aber die periodischen Winde entstehn, und dafs die veränderlichen in den gemäfsigten und kalten hiermit wohl in Verbindung stehn müssen, obgleich die eigentlichen Ursachen derselben durch zahlreiche örtliche Einflüsse minder deutlich hervortreten. Immerhin fehlte es aber noch an einer bündigen Nachweisung des Zusammenhanges der sämmtlichen auf beiden Hemisphären herrschenden Winde jeder Art mit dieser allgemeinen Ursache, und namentlich war zwar die allgemeine Strömung der kalten Luft gegen den Aequator und ein Zurückfliefsen der erhitzten von der heifsen Zone nach den Polen hin bekannt, die eigentliche Weise dieser entgegengesetzten Strömungen aber, namentlich ob sie über oder neben einander statt finden, ob und wo beide wieder in einander fallen und inwiefern hierdurch Richtung und Stärke der veränderlichen Winde bedingt werden, ob endlich bei diesen letzteren gleichfalls eine gewisse Regelmäfsigkeit besteht oder ob sie blofs von zufälligen und örtlichen Bedingungen abhängen, alles dieses blieb noch immer in Dunkel gehüllt. Erst in den neuesten Zeiten ist es den anhaltenden Bemühungen Dove's gelungen, hierüber genügendes Licht zu verbreiten und eine in

1 Philos. Trans. T. XXXIX. p. 58.

sich begründete, mit den zahlreichsten Phänomenen auf beiden Hemisphären genau übereinstimmende Theorie der Winde aufzustellen. Weil aber diese mit dem von ihm gleichfalls definitiv bestätigten allgemeinen Drehungsgesetze der veränderlichen Winde der gemäfsigten Zonen im genauesten Zusammenhange steht, so ist es am zweckmäfsigsten, ihre Darlegung bis dahin (§. 71) zu versparen.

14) Aus dem bisher Mitgetheilten geht hervor, dafs die ursprünglich von Baco aufgestellte, durch Halley und hauptsächlich Hadley verbesserte Theorie der Winde bis auf die neuesten Zeiten ohne wesentliche Veränderungen beibehalten wurde, denn bei weitem die meisten und gewiegtesten Physiker betrachteten die Ausdehnung der Luft durch Wärme als Hauptursache dieser Luftbewegungen, und wenn es auch sehr nahe lag, die Verminderung der Masse derjenigen elastischen Flüssigkeiten, welche unsere Atmosphäre bilden, durch Condensirung des vorhandenen Wasserdampfes bei der Bildung der Hydrometeore als eine Ursache der Luftbewegungen anzusehn, so ist diese gleichfalls wieder eine Wirkung der Wärme und fällt hiernach mit jener Ursache zusammen. Die Axendrehung unserer Erde erschien diesemnach nur als eine die Richtung der speciellen Passatwinde veranlassende Bedingung. Zur Unterstützung dieser Behauptung wird es genügen, nur einige wenige Autoritäten anzuführen. Dalton[1], welcher später[2] auf die Begründung einer vollständigen Theorie der Winde Anspruch machte, ging nicht bedeutend weiter, als Hadley bereits gekommen war, obgleich er allerdings bemerkt, dafs die Winde in der nördlichen Hemisphäre, die in Folge der vielen störenden Bedingungen völlig regellos seyn könnten, dennoch Spuren der Hauptrichtungen der oberen und unteren Luftmassen zeigen, indem sie am einen Orte die Richtung zwischen N und O, am andern zwischen S und W annehmen, mit zufällig zwischen beiden liegenden Varietäten. G. G. Schmidt[3] knüpft die Erklärung des Ursprungs der Winde unmittelbar an die Resultate seiner Versuche über das Strömen erhitzter Luft

1 Meteorological observations and essays. Lond. 1793. 8.

2 Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXVIII. p. 390. Poggendorff's Ann. XLII. 315.

3 Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. Giess. 1826. S. 217.

in Röhren. Joh. Tob. Mayer[1] giebt die Erwärmung der Luft durch die Sonnenstrahlen als einzige Ursache der Winde an, deren Richtung dann durch verschiedene anderweitige Bedingungen modificirt wird. W. Brandes[2] beginnt seine gehaltreichen Bemerkungen über die Winde damit, daſs er sagt: „unter den zahlreichen Ursachen, welche das Gleichgewicht in „der Atmosphäre stören können und daher Winde hervor„bringen, ist eine Ungleichheit der Temperatur wohl die ein„fachste.“ Im Verfolge der Untersuchungen zeigt er dann, wie die Entstehung der Winde sich so leicht auf Ungleichheiten der Wärme zurückführen lasse. Nach Schübler[3] herrscht völlige Windstille nur höchst selten in der Atmosphäre, eine Behauptung, die vollkommen richtig ist, wenn man bei einem Winde mindestens eine gewisse Geschwindigkeit der Bewegung voraussetzt, denn sonst dürfte eine absolute Ruhe der Luft, auch nur Minuten lang, nie statt finden. Alle verschiedene Arten der Winde stehn nach ihm stets mit einer Vermehrung oder Verminderung der Elasticität der Luft in näherer Beziehung, und die nächste Veranlassung hierzu geben die Temperaturveränderungen und Niederschläge in der Atmosphäre. Mit gewohnter Bestimmtheit und Schärfe drückt sich Baumgartner[4] auch hierüber aus. Hiernach werden alle Bewegungen der Luft zunächst durch eine Aenderung ihrer Ausdehnung hervorgebracht, und diese höchst wahrscheinlich fast immer durch die Temperatur erzeugt[5]. Durch Temperaturerhöhung an irgend einer Stelle wird die Luft ausgedehnt und verdünnt, dadurch ein Aufsteigen der leichteren Luftsäulen bewirkt, und dieses führt dann ein Zuströmen von der Seite nothwendig herbei. Es entsteht demnach eine dreifache Bewegung, ein Aufsteigen, ein Zuströmen zur erwärmten Stelle, und ein Wegströmen von dieser in den oberen Regionen.

---

1 Lehrbuch über die physische Astronomie, Theorie der Erde und Meteorologie. Gött. 1805. S. 219.

2 Beiträge zur Witterungskunde. Leipz. 1820. S. 365.

3 Grundsätze der Meteorologie. Leipz. 1831. S. 23.

4 Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande u. s. w. Sechste Aufl. 1839. S. 711.

5 Auf diese Ursache führt auch Mitchell die Entstehung der Winde zurück. S. Silliman Amer. Journ. T. XIX. Daraus in Edinb. New Phil. Journ. N. XXII. p. 288.

Temperaturverminderung bewirkt das nämliche, nur in umgekehrter Richtung. Die Sonne erzeugt durch ihre erwärmende Kraft unablässig solche Strömungen, und es sind daher jene Stellen der Erde, welche die gröfste Erwärmung erleiden, als die Mittelpuncte der Luftströmungen anzusehn. Diese Stellen rücken wegen der Axendrehung der Erde in einem Parallelkreise um die Erde herum und es mufs daher die Richtung der Strömungen durch diese Ursache modificirt werden. So z. B. mufs die aufsteigende Luft, da sie die der gröfseren Höhe entsprechende Geschwindigkeit der Umdrehung nicht hat, schief von Ost gegen West aufsteigen, und der von Nord oder Süd kommende Strom mufs, wenn er von einer gröfseren geographischen Breite in einer kleineren anlangt, eine nordöstliche oder südöstliche Richtung annehmen. Bedürfte es noch einer weiteren Autorität, so würde es genügen, nur noch Kämtz[1] zu nennen, welcher die Entstehung der Winde im Allgemeinen und im Einzelnen aus diesem einfachen Principe ableitet. Es möge daher hier nur beiläufig erwähnt werden, dafs Lampadius[2] die Elektricität als eine Ursache, namentlich der Stürme, betrachtet. Er sagt hier aber: „wenn ein Gewitter sich, wie „man zu sagen pflegt, in Sturm auflöst, so ist das nichts an„ders, als dafs die elektrische Materie, welche bis dahin in „Funken übersprang, nun ausströmt und die Lufttheilchen „dadurch mit sich fortreifst.“ Allein dieses ist eine blofse, mit dem Verhalten der Elektricität überhaupt und namentlich der Luftelektricität nicht einmal übereinstimmende Voraussetzung.

15) Die Erfahrung unterstützt sehr genügend die Hypothese, wonach die Ursache der Winde zunächst und hauptsächlich in partieller Erwärmung einzelner Luftmassen zu suchen ist. Wenn nicht schon beim Entstehen einer Feuersbrunst ein etwas starker Wind weht, so erhebt sich derselbe während ihrer Dauer und meistens mit zunehmender Stärke, auch ändert er zuweilen seine Richtung. Man mifst dieses meistens dem Zufalle bei, allein das Ereignifs zeigt sich zu oft, als dafs man hierzu berechtigt seyn könnte, und aufserdem erzählt W. C. Redfield[3] einige Beispiele, wo durch das Verbrennen grofser

---

1 Meteorologie. Th. I. S. 138. 210. 278.

2 Schweigger's Journ. LXIX. 267.

3 Aus Silliman Am. Journ. T. XXXVI. p. 50 u. 71 in Edinburgh New Phil. Journ. N. LIV. p. 369.

Massen von Holz bei der Ausrottung der Urwälder furchtbare Wirbelwinde erzeugt wurden. An einem absichtlich zur Verhütung weiterer Verbreitung des Feuers gewählten heiteren und windstillen Tage im Sommer 1824 liefs Dr. Cowles eine aufgehäufte Masse trocknen Holzes verbrennen; Flamme und Rauch stiegen in Form eines mächtigen Kegels empor, man hörte das Brausen bis zu bedeutender Entfernung, und es erhob sich ein gewaltsamer Wirbelwind, welcher starke Bündel Reisig von Plätzen, wo das Feuer nicht brannte, aufhob, hoch in der Luft fortführte und aufserhalb der Grenze des brennenden Feldes wieder fallen liefs. Theodor Dwight beobachtete im April 1783 ein ähnliches Feuer zu Stockbridge. Der Flammenkegel, von einer weiten Basis ausgehend, erhob sich bis 150, ja 200 engl. Fufs Höhe, die Rauchsäule aber so hoch, dafs das Auge ihr Ende nicht erreichen konnte, beide wirbelten stark und erzeugten ein Getöse, welches den Donner noch übertraf; dabei entstand ein so starker Wirbelwind, dafs abgehauene Bäume von 6 bis 8 Zoll Durchmesser vom Boden fortgerissen und zu 40 bis 50 Fufs Höhe emporgehoben wurden. An einem warmen und windstillen Tage liefs William Akin das sämmtliche Holz, welches auf einer 25 Acres haltenden Fläche abgeholzt war, in der Mitte auf einen Haufen zusammenbringen und an allen Seiten anzünden. Das Feuer ergriff bald die ganze Masse in Folge der rund umher nach der Mitte hinströmenden Luft, die Flamme erhob sich wirbelnd bis zu einer bedeutenden Höhe, die Rauchsäule aber so hoch, dafs das Auge ihr Ende nicht erreichen konnte; dabei war das bis auf etliche engl. Meilen weit hörbare Getöse dem anhaltenden Donner bei Hagelwettern gleich, wurde aber durch heftigere Explosionen unterbrochen; die erzeugte wirbelnde Bewegung war weit stärker, als sie sich bei Winden zu zeigen pflegt. Bei dem grofsen Waldbrande, welcher im Herbst 1825 eine Strecke von 140 engl. Meilen Länge und 70 Meilen Breite zu Mirimachi in Neubraunschweig zerstörte, brannte das Feuer einige Tage ruhig, es erhob sich dann aber plötzlich ein heftiger Westwind, welcher dasselbe so schnell vor sich hintrieb, dafs die beiden Städte Douglass und New-Castle gänzlich verzehrt wurden, wobei mehrere Menschen und vieles Vieh umkamen, ja selbst nicht schnell fliegende Vögel fanden ihren Tod in den Flammen, in die sie getrieben wurden. Die Flamme

stieg bis 200 Fuſs über die Spitzen der höchsten Bäume, und von der Höhe herab gesehn glich die Strecke einem wallenden Feuermeere, welches ein ohne Zweifel noch groſsartigeres Schauspiel darbot, als der berühmte Brand von Moscau. Ein Pächter zu Delaware in Newyork versicherte mehrmals beim Verbrennen der ausgerotteten Bäume und Gesträuche Wirbelwinde beobachtet zu haben, die Holzstücke und Zweige hoch aufzuheben vermochten. Redfield selbst beobachtete einen entstehenden Wirbelwind beim Verbrennen eines hölzernen Hauses, noch deutlicher sah dieses aber B. L. Hamlen im August 1838, als die gefüllten Holzschuppen des Yale-College zu Philadelphia verbrannten.

16) Soll die Erwärmung der Luft durch die Sonnenstrahlen als die eigentliche, wenn gleich verschiedenen Modificationen unterworfene Ursache der Winde gelten, so wird vor allen Dingen erfordert, das Verhältniſs zwischen der durch diese Erwärmung erzeugten Ausdehnung und der hierdurch bewirkten Luftbewegung aufzusuchen. Es ist dieses zwar bereits oben[1] auf eine leicht faſsliche Weise geschehn, und dadurch die Geschwindigkeit der unter mittlerem atmosphärischem Drucke in den leeren Raum einströmenden Luft = 1210 und mit Rücksicht auf den Feuchtigkeitsgehalt = 1215 Par. Fuſs in 1 Secunde mittlerer Sonnenzeit gefunden, hieraus zugleich auch die Strömungsgeschwindigkeit erwärmter Luftsäulen, je nach dem Unterschiede ihrer Temperatur und der der umgebenden Luftmassen, berechnet worden; inzwischen verdient hier noch eine sehr elegante Behandlung dieses Problems mitgetheilt zu werden, wodurch J. C. E. Schmidt[2] die Wissenschaft bereichert hat.

---

1 S. Art. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 593. Beiläufig möge hier bemerkt werden, daſs Hutton in seinen Tracts cet. T. III. p. 195. dieses Problem sehr einfach löst. Ist die Fallhöhe in 1 Sec. = g, die Höhe der Luft = H, so ist

$$\sqrt{g} : \sqrt{H} = 32 : x.$$

Er setzt dann

$$H = 2{,}5 \times 13{,}6 \times 833\tfrac{1}{3}$$

und sonach ist

$$\sqrt{16} : \sqrt{28333} = 16 : 1346$$

in engl. Fuſs.

2 Lehrbuch der mathematischen und physischen Geographie. Gött. 1830. Bd. II. S. 332.

Das Urtheil dieses gewandten Mathematikers über das vorliegende Problem ist folgendes: „die Theorie der Winde im Zu„sammenhange mit den verschiedenen Barometerständen darzu„stellen ist eine sehr schwierige Sache, und es dürfte dem „jetzigen Zustande unserer analytischen Kenntnisse wohl ganz „unmöglich seyn, eine vollständige Auflösung dieser Aufgabe „aufzustellen; denn obgleich wir zwar aus den Principien der „Hydrodynamik die Differentialgleichungen für die Bewegung „von Flüssigkeiten, sie mögen elastisch oder tropfbar seyn, „geben können, so sind wir doch nicht im Stande, aus den „Differentialen die endlichen Gröſsen herzuleiten, und alles, was „wir in dieser Sache thun können, besteht darin, daſs wir „durch geschickte Voraussetzungen, die der Natur des Gegen„standes so angemessen als möglich sind, uns die Rechnung „erleichtern, um wenigstens genäherte Resultate zu erhalten, „die einigermaſsen uns Anleitung geben, wie wir den Zusam„menhang der Stärke des Windes mit dem Unterschiede des „Luftdrucks und der Barometerhöhe zu betrachten haben." Um diesen Zweck zu erreichen, dienen die folgenden Untersuchungen.

Fig. 201. 17) Man nehme eine Röhre ABDC, die bei AC verschlossen, bei BD offen und mit Luft angefüllt ist, welche aus dem offenen Ende ausflieſsen kann. In der Mitte der beliebig gestalteten Röhre befinde sich die centrische Linie EF und es mögen dann alle in einem auf diese Linie senkrechten Durchschnitte GHKL befindliche Lufttheilchen die nämliche Geschwindigkeit $= v$ haben. Hat dieser Durchschnitt eine verschwindende Dicke NM, so kann er als ein Element der Luftmasse gelten. Ist dann die Dichtigkeit der in der Röhre befindlichen Luft $= g$, die Grundfläche des Durchschnittes $HG = y$, die Dicke MN desselben $= \partial s$, so ist die darin enthaltene Luftmasse $\partial m = \varrho . y \partial s$. Bezeichnet p den Luftdruck auf eine als Einheit angenommene Fläche, und berücksichtigt man, daſs dieser der Fläche dann proportional ist, so ist der gegen die Fläche GH statt findende $= p y$, und da p im Allgemeinen eine Function des Bogens $EN = s$ ist, so wird der Druck auf die Fläche KL, da diese von gleicher Gröſse als HG angenommen werden kann, durch $\left(p + \frac{\partial p}{\partial s} \partial s\right) y$ ausgedrückt. Der erste Druck findet in der Richtung NM, der

zweite in der Richtung MN statt, und zieht man daher den letzten vom ersten ab, so bleibt der Druck in der Richtung NM $= - y \cdot \frac{\partial p}{\partial s} = - y \partial p$ als die bewegende Kraft, welche das Element in Bewegung setzt. Wird diese durch die Masse $\varrho y \partial s$ des Elements dividirt, so erhält man die bewegende Kraft $= - \frac{\partial p}{\varrho \partial s}$, welches dem Differential der Geschwindigkeit, dividirt durch das Element der Zeit, oder $\frac{\partial v}{\partial t}$ gleich ist. Hiernach ist die Gleichung für die Bewegung:

$$- \partial p = \frac{\partial v}{\partial t} \cdot \varrho \partial s. \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

aus welcher die Geschwindigkeit v weggeschafft werden mufs, um den Druck p am Ende der Röhre BD zu finden. Wird dann angenommen, die Luft habe in der ganze Röhre gleiche Dichtigkeit, so läfst sich die Geschwindigkeit ihres Fortrückens an jeder beliebigen Stelle finden, wenn sie an einer bestimmten bekannt ist. Es sey daher OPDB das Element, welches zur Zeit t auszuströmen strebt und in der Zeit $t + \partial t$ ausgeströmt ist, so wird OP in derselben Zeit nach BD gekommen seyn, als HG nach KL; ferner sey zur Zeit t die Dichtigkeit $= \varrho$, zur Zeit $t + \partial t$ sey sie $= \varrho - \partial \varrho$, so mufs wegen der Gleichheit der Luftmassen in den einzelnen Theilen und in der ganzen Röhre

$$AHGC . \varrho = AKLC \, (\varrho - \partial \varrho),$$
$$AOPC . \varrho = ABDC \, (\varrho - \partial \varrho)$$

werden, und man erhält

$$\frac{AOPC}{AHGC} = \frac{ABDC}{AKLC},$$

oder da

$$AOPC = AHGC + HKLG,$$
$$ABDC = AOPC + OBDP,$$

so zeigt die Gleichung

$$\frac{HKLG}{AHGC} = \frac{OBDP}{AOPC}, \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

dafs sich die Elemente an verschiedenen Stellen der Röhre wie die hinter ihnen liegenden Volumina der Luft verhalten.

Ist dann ferner das veränderliche Volumen AHGC = Y, der ganze Inhalt der Röhre = A (wofür mit Weglassung des verschwindenden Elementes die Gröfse AOPC genommen werden kann), die Geschwindigkeit, womit das Element BDPO ausströmt, = u, der Querschnitt BD = n, so hat man

$$OBDP = QF.n = nu.\partial t,$$
$$HKLG = NM.y = yv.\partial t,$$

folglich, diese Werthe substituirt und ∂t weggelassen,

$$\frac{yv}{Y} = \frac{nu}{A} \text{ und } v = \frac{n}{A} \cdot \frac{Y}{y} . u \quad \ldots . \quad (3)$$

Durch Differentiation ergiebt sich:

$$\partial v = \frac{n}{A} \cdot \frac{Y}{y} . \partial u + \frac{n}{A} . u . \partial . \frac{Y}{y},$$
$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{n}{A} \cdot \frac{Y}{y} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{n}{A} . u . \partial . \frac{Y}{y} \cdot \frac{1}{\partial t} .$$

Es ist aber $NM = \partial s = v \partial t$, also $\frac{1}{\partial t} = \frac{v}{\partial s}$, oder wenn man den Werth von v aus der Gleichung (3) substituirt,

$$\frac{1}{\partial t} = \frac{n}{A} \cdot \frac{Y}{y} \cdot \frac{u}{\partial s},$$

und es wird also, weil

$$\frac{Y}{y} \partial \left(\frac{Y}{y}\right) = \tfrac{1}{2} \partial . \left(\frac{Y}{y}\right)^2,$$
$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{n}{A} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \cdot \frac{Y}{y} + \frac{n^2}{A^2} \cdot \frac{u^2}{2 \partial s} . \partial . \left(\frac{Y}{y}\right)^2 .$$

Dieser Werth in die Gleichung (1) substituirt giebt:

$$\partial p = -\varrho . \frac{n}{A} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \cdot \frac{Y \partial s}{y} - \varrho \frac{n^2}{A^2} \cdot \frac{u^2}{2} . \partial . \left(\frac{Y}{y}\right)^2 .$$

Um den Druck bis zu einem bestimmten Werthe von s zu erhalten, mufs man die Gleichung von s = 0 bis zu dem bestimmten Werthe von s integriren, und erhält also:

$$p = C - \varrho \frac{n}{A} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \cdot \int \frac{Y \partial s}{y} - \varrho \frac{n^2}{A^2} \cdot \frac{u^2}{2} \cdot \left(\frac{Y}{y}\right)^2;$$

weil die Gröfsen ϱ, $\frac{\partial u}{\partial t}$, u, die blofs rücksichtlich der Zeit veränderlich sind, hier als beständig gelten können. Zur Bestimmung der Constante sey p' der Druck, welcher der Dich-

tigkeit ϱ im Innern der Röhre entspricht, wonach $p = p'$, wenn $s = 0$ ist. Da ferner Y oder das Volumen $= \int y \partial s$ ist, so wird für einen sehr geringen Werth von s dieses Integral $= y s$, und man hat

$$\int \frac{Y \partial s}{y} = \tfrac{1}{2} s^2; \; \left(\frac{Y}{y}\right)^2 = s^2.$$

Beide Gröfsen werden $= 0$ für $s = 0$, folglich bleibt $p' = C$ und man erhält

$$p' - p = \varrho \frac{n}{A} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} \int \frac{Y \partial s}{y} + \varrho \frac{n^2}{A^2} \cdot \frac{u^2}{2} \cdot \left(\frac{Y}{y}\right)^2 \dots\dots \quad (4)$$

Wird das Integral, welches sich in jedem gegebenen Falle darstellen läfst, sobald die Gestalt der Röhre bekannt ist, auf die ganze Röhre ausgedehnt und durch B bezeichnet, so wird $Y = A$ und $y = n$, also

$$\frac{n^2}{A^2} \cdot \frac{Y^2}{y^2} = 1.$$

Strömt die Luft in einen Raum aus, welcher mit Luft von der Dichtigkeit $= \varrho^0$ und unter dem Drucke $= p^0$ erfüllt ist, so hat man $p = p^0$; $Y = A$; $y = n$; $\int \frac{Y \partial s}{y} = B$, und man erhält also

$$p' - p^0 = \varrho \frac{nB}{A} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \varrho \frac{u^2}{2}, \quad \dots\dots \quad (5)$$

woraus die Geschwindigkeit u der ausströmenden Luft als Function der Zeit t gefunden werden kann. Die Gröfsen p' und p^0 lassen sich durch ϱ und ϱ^0 ausdrücken, wenn man $p' = k\varrho$ und $p^0 = k\varrho^0$ bezeichnet, worin k eine beständige Gröfse ist. Hierdurch wird die vorhergehende Gleichung

$$k(\varrho - \varrho^0) = \varrho \frac{nB}{A} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \varrho \frac{u^2}{2} \quad \dots\dots \quad (6)$$

Um diese Gleichung zu integriren, mufs ϱ durch u und t ausgedrückt werden. Ist aber ϱ die Dichtigkeit der ausströmenden Luft zur Zeit t und $\varrho + \partial\varrho$ zur Zeit $t + \partial t$, so ist $A\varrho$ die Luftmasse in der Röhre zur Zeit t, und $A(\varrho + \partial\varrho)$ zur Zeit $t + \partial t$; der Unterschied $= - A\partial\varrho$ giebt die in der Zeit ∂t ausgeflossene Luftmenge, und wenn u die Geschwindigkeit der ausströmenden Luftmasse bezeichnet, so ist jene $= \varrho n u \partial t$. Demnach ist

$$A \partial \varrho = - \varrho n u \partial t.$$

Es sey dann A^o der Inhalt des Raumes, in welchem sich die Luftmasse ausbreitet, ihre Dichtigkeit hierin zur Zeit t sey $= \varrho^o$, so ist $A^o \varrho^o$ die in diesem Raume enthaltene Luftmasse. Da aber keine Luft entweichen kann, so ist die Summe der in beiden Räumen enthaltenen Luftmassen $= A\varrho + A^o \varrho^o$ eine constante Gröſse, und wenn die mittlere Dichtigkeit beider vereinten Luftmassen durch $\varDelta$ bezeichnet wird, so erhält man:

$$A \varrho + A^o \varrho^o = (A + A^o)\, \varDelta,$$

worin $\varDelta$ eine beständige Gröſse ist. Hieraus ergiebt sich:

$$\varrho^o = \frac{A + A^o}{A^o} \varDelta - \frac{A}{A^o} \varrho.$$

Dieser Werth in die Gleichung (6) substituirt giebt

$$k \frac{A + A^o}{A^o} (\varrho - \varDelta) = \varrho \left(\frac{nB}{A} \cdot \frac{du}{\partial t} + \frac{u^2}{2} \right).$$

Diese differentiirt und durch $\varrho \partial t$ dividirt giebt

$$k \frac{A + A^o}{A^o} \cdot \frac{\partial \varrho}{\varrho \partial t} = \frac{\partial \varrho}{\varrho \partial t} \left(\frac{nB}{A} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u^2}{2} \right) + \frac{nB}{A} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + u \frac{du}{dt}.$$

Die Gleichung $A \partial \varrho = - \varrho n u \partial t$ giebt aber $\frac{\partial \varrho}{\varrho \partial t} = - \frac{nu}{A}$, und wenn dieses substituirt und mit A multiplicirt wird, so erhält man

$$-k \frac{A + A^o}{A^o} u n = - u n \left(\frac{nB}{A} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u^2}{2} \right) + nB \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + u A \frac{\partial u}{dt}.$$

Multiplicirt man diese Gleichung mit ∂u, und setzt man $\frac{\partial u}{\partial t} = w$, $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial w}{\partial t} = \frac{w \partial w}{\partial u}$, so erhält man

$$nB . w \partial w = u \partial u \left(\frac{n^2 B}{A} w + \frac{n u^2}{2} \right) - u \partial u . A w - k \frac{A + A^o}{A^o} n u \partial u.$$

Setzt man ferner $\frac{u^2}{2} - k \frac{A + A^o}{A^o} = x$ und $\frac{n^2 B}{A} - A = E$, so wird $u \partial u = \partial x$ und

$$n B w \partial w = (E w + n x)\, dx \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

Denken wir uns dann ein prismatisches oder cylindrisches Gefäſs, aus dessen Grundfläche die Luft strömt und bei welchem die centrische Linie die Axe bildet; bezeichnen wir ferner die an allen Stellen gleich groſsen Durchschnitte durch n, die Länge der Axe durch l, so wird

$$\int y\partial s = Y = ns;\ A = nl;\ \int \frac{Y\partial s}{y} = \tfrac{1}{2}l^2 = B.$$

Hierdurch verwandelt sich der eben gefundene Werth von E in $-\frac{1}{2}nl$, und dieser Werth in die Gleichung (7) substituirt giebt

$$\tfrac{1}{2}l^2 w\partial w = (x - \tfrac{1}{2}lw)\partial x.$$

Setzen wir $2x + lw = \xi;\ x - lw = \xi'$, und substituiren wir die hieraus sich ergebenden Werthe in die vorige Gleichung, so wird

$$\xi\partial\xi' + 2\xi'\partial\xi = 0.$$

Multiplicirt man diese Gleichung mit ξ, so erhält man ein vollständiges Differential $\partial.\xi^2\xi'$, dessen Integral

$$\xi^2\xi' = c^3$$

wird, wo c^3 die vollständige Constante ist. Setzt man für ξ und ξ' ihre Werthe, so erhält man

$$(2x + lw)^2(x - lw) = c^3. \quad \ldots. \quad (8)$$

Da nun A den inneren und A^o den äufseren Raum bezeichnet, so wird unter der Voraussetzung, dafs A^o gegen A sehr grofs sey, $\frac{A + A^o}{A^o}$ sehr nahe $= 1$. Wir dürfen ferner annehmen, dafs die Dichtigkeit der äufseren Luft ϱ^o constant sey, und es geht dann der oben angenommene Ausdruck für x in folgenden über:

$$x = -k + \tfrac{1}{2}u^2.$$

Da aber im Anfange der Zeit t die Geschwindigkeit der ausströmenden Luft $u = 0$ ist, so wird $x = -k$, und es sey zu gleicher Zeit $w = w'$. Dieser Werth in die Gleichung (8) substituirt giebt

$$(-2k + lw)^2.(-k - lw') = c^3.$$

Da die Geschwindigkeit, welche die ausströmende Luft vermöge des Unterschiedes der Dichtigkeit annimmt, immer sehr klein bleibt, so wird u^2 gegen k eine sehr kleine Gröfse seyn. Setzt man daher $u^2 = 2\mu k$, so können die höheren Potenzen von μ vernachlässigt werden, und es ist

$$x = -k + \tfrac{1}{2}u^2 = -k(1 - \mu).$$

Diesen Werth von x in die Gleichung (8) substituirt, die höheren Potenzen von μ weggelassen, erhält man

$$-4k^3 + 12k^3\mu + 3kl^2w^2 - 3k\mu l^2w^2 - l^3w^3 = c^3 \quad \ldots. \quad (9)$$

Für den Anfang der Bewegung ist $u = 0$, also auch $\mu = 0$, und da dann $w = w'$ seyn soll, so erhält man

$$c^3 = -4k^3 + 3kl^2w'^2 - l^3w'^3.$$

Die Gleichung (6) zeigt ferner, dafs, wenn ϱ' den Werth von ϱ zu Anfang der Bewegung bezeichnet, der Werth von $\frac{\partial u}{\partial t} = w$ zu derselben Zeit durch die Gleichung

$$k(\varrho' - \varrho^\circ) = \varrho' . \frac{nB}{A} w'$$

ausgedrückt wird, weil dann $u = 0$ ist. In unserem Falle ist $\frac{nB}{A} = \frac{1}{2}$, also

$$lw' = 2k \frac{\varrho' - \varrho^\circ}{\varrho'},$$

und da $\frac{\varrho' - \varrho^\circ}{\varrho'}$ ein kleiner Bruch ist, dessen höhere Potenzen vernachlässigt werden können, so wird, wenn wir denselben durch α bezeichnen,

$$c^3 = -4k + 12k^3\alpha^2.$$

Der Analogie gemäfs können wir $lw = 2k\delta$ setzen, wobei δ im Allgemeinen noch kleiner als α und eine veränderliche Gröfse ist, und dann verwandelt sich die Gleichung (9) mit Weglassung des Cubus von δ in

$$-4k^3 + 12k^3\mu + 12k^3\delta^2 - 12k^3\mu\delta^2 = c^3,$$

und wenn wir hierin den eben gefundenen Werth von c^3 substituiren, so kommt

$$\mu + \delta^2 - \mu\delta^2 = \alpha^2.$$

Bleibt hierin das Glied $\mu\delta^2$ wegen seiner Kleinheit weg, so wird

$$\delta = \sqrt{(\alpha^2 - \mu)}.$$

Es war aber $u^2 = 2\mu k$, also $u = \sqrt{2\mu k}$ und $\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial \mu}{\partial t}\sqrt{\frac{k}{2\mu}}$, folglich

$$lw = l\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial \mu}{\partial t} . l\sqrt{\frac{k}{2\mu}},$$

und da $lw = 2k\delta$ ist,

$$\delta = \frac{\partial \mu}{\partial t} . \frac{1}{2k}\sqrt{\frac{k}{2\mu}}.$$

Setzt man diesen Werth in die obere Gleichung für δ, so wird

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} . \frac{1}{2k}\sqrt{\frac{k}{2\mu}} = \sqrt{(a^2 - \mu)},$$

und hieraus

$$\partial t \cdot \frac{2\sqrt{2k}}{l} = \frac{\partial \mu}{\sqrt{(a^2\mu - \mu^2)}}.$$

Diese Gleichung integrirt giebt

$$t\,\frac{2\sqrt{2k}}{l} = \text{Arc.}\left(\text{Sin.} = \frac{\mu}{a^2}\right),$$

wo keine Constante nöthig ist, da für $\mu = 0$ auch $t = 0$ wird. Nimmt man auf beiden Seiten den Sinus, so giebt dieses

$$\mu = a^2\,\text{Sin.}\,t\,\frac{\sqrt{2k}}{l},$$

und da $\mu = \frac{u^2}{2k}$, $a = \frac{\varrho' - \varrho^o}{\varrho^o}$ ist,

$$u = \frac{\varrho' - \varrho^o}{\varrho^o}\sqrt{2k\,\text{Sin.}\,t\,\frac{\sqrt{2k}}{l}}.$$

Das Maximum für diesen Ausdruck findet dann statt, oder die Geschwindigkeit wird dann am gröfsten, wenn der Sinus $= 1$ ist, und hierfür wird also

$$u = \frac{\varrho' - \varrho^o}{\varrho^o}\sqrt{2k} \quad \ldots . \quad (10)$$

Schmidt nimmt das specifische Gewicht des Quecksilbers gegen Luft, beide bei 0° C., gleich 10506 : 1 an, und hiernach beträgt die Höhe der Atmosphäre bei überall gleicher Dichtigkeit für 28 Zoll oder $2\frac{1}{3}$ Fufs Barometerhöhe $2\frac{1}{3} \times 10506 = 24514$ Par. Fufs. Hiernach ist also $k = 24514 \cdot g$ Par. Fufs, und wenn $g = 30{,}11$ Par. Fufs angenommen wird, so ist $\sqrt{2k} = 1215$ Par. Fufs, dieselbe Gröfse, welche oben[1] auf einem anderen Wege gleichfalls gefunden worden ist.

18) Wird die Dichtigkeit der Luft blofs durch den Barometerstand bestimmt, so kann man in der Formel (10) statt ϱ auch die Barometerhöhe $= p$ substituiren, und erhält in diesem Falle

$$u' = \frac{p' - p^o}{p^o}\,1512 \text{ Par. Fufs.}$$

Wären also die Barometerstände an zwei Orten 336 und 324 Par. Linien, so würde dieses einer Geschwindigkeit von 45 Fufs in 1 Sec. zugehören; kommt aber der Einflufs der ungleichen

1 S. Art. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 593.

Wärme hinzu, so wächst die Gsschwindigkeit bedeutend. Nach Kämtz beträgt daher für die genannten Barometerstände, wenn dem höheren eine Wärme von 0°, dem niedrigern von 10° C. zugehört, und diesem gemäfs die Werthe von ϱ' und ϱ^0 bestimmt werden,

$$u' = \frac{336-312}{312} \cdot 1215 = 93 \text{ Fufs},$$

woraus zugleich folgt, dafs auch bei gleichen Barometerständen, aber ungleicher Temperatur, ein Wind entstehen kann, was auch aus den angegebenen pneumatischen Gesetzen von selbst folgt. Für den angenommenen Temperatur-Unterschied würde, $\varrho' = 1$ gesetzt, $\varrho^0 = 0{,}96$ werden und die Formel eine Geschwindigkeit von 28 Fufs geben.

Es liefse sich hier noch die Betrachtung des neuerdings durch Dove aufgefundenen *allgemeinen Drehungsgesetzes* der Winde anreihen, da dasselbe sich aber nicht sowohl auf ihre Entstehung, als vielmehr auf ihre Richtung bezieht, so verspare ich diese Untersuchung bis weiter unten.

B. Verschiedene Arten der Winde.

Man kann, wie dieses durch Kämtz geschehen ist, die Winde in regelmäfsige und unregelmäfsige abtheilen, indefs scheint mir kein genügender Grund vorhanden zu seyn, von der älteren Abtheilung abzuweichen, wonach man den beständigen Passatwind, die periodischen Winde und die veränderlichen unterscheidet. Es werden hier einige allgemeine Bemerkungen über die verschiedenen Arten der Winde genügen.

19) a) Die *Passatwinde* (vents alizés; *tradewinds*) konnten den Alten wegen ihrer beschränkten Schifffahrt nicht bekannt seyn. Bekanntlich aber litt Columbus bedeutend durch dieselben bei seiner ersten Rückkehr von Westindien nach Europa, und seitdem sind sie durch die zahlreichen Seefahrer viel beobachtet worden, Halley aber gab von ihnen die oben mitgetheilte Erklärung. Es ist dieses der beständige Ostwind der äquatorischen Zone, welcher sich jedoch nicht genau in diesen Grenzen hält, sondern im Ganzen zwischen 5° bis 30° N. B. und 1° bis 25° S. B. wehet, was wohl als eine Folge der Gestalt der Erdoberfläche zu betrachten ist, die auf der nördlichen Halbkugel eine ungleich gröfsere Ländermasse dar-

bietet[1]. Absolute Regelmäfsigkeit und stete gleichmäfsige Beschaffenheit dieses Windes könnte nur dann statt finden, wenn die Erde überall mit Wasser bedeckt wäre und die Sonne ihre Declination nicht änderte; unter den wirklich vorhandenen Bedingungen aber mufs derselbe vielfache Abweichungen von der allgemeinen Regel zeigen. Genau mit der Theorie übereinstimmend ist die Erfahrung, dafs der Passatwind an seinen Grenzen auf der nördlichen Halbkugel eine nordöstliche, auf der südlichen eine südöstliche Richtung annimmt und unter dem Aequator selbst, wo beide Polarströme zusammenstofsen und die erhitzte Luft stark aufwärts strömt, fast in Windstille übergeht; auch folgt hieraus unmittelbar, dafs die oben wieder abfliefsende Luft aus gleichen, aber entgegengesetzt wirkenden Ursachen auf der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, auf der südlichen eine nordwestliche Richtung annehmen müsse[2], allein nur auf sehr grofsen Meeren findet man die hieraus hervorgehende regelmäfsige Luftbewegung, die über kleineren Wasserflächen und noch mehr über dem Lande mannigfaltig modificirt wird.

Aus dem Gesagten folgt, dafs wir zwei Passate, den nordöstlichen auf der nördlichen und den südöstlichen auf der südlichen Halbkugel, haben müssen, zwischen beiden aber liegt eine Zone, wo oft Windstille herrscht (*region des calmes*), die mit heftigen Orkanen, hauptsächlich den *Tornados* oder *Trovados* der Spanier, abwechselt. Die Grenzen der Passate und der zwischen ihnen liegenden Zone der Windstillen würden sich stets gleich bleiben, wenn die Sonne sich stets im Aequator bewegte, allein wegen ihrer veränderlichen Declination ändern sich auch jene, und die Seefahrer treffen daher die Passate in den verschiedenen Jahreszeiten unter ungleichen nördlichen und südlichen Breiten, wobei noch aufserdem zu berücksichtigen ist, dafs eine gewisse Zeit erfordert wird, bis die Aenderung der Sonnen-Declination eine Verrückung der Grenzen der Passate nach sich zieht; die absolute Gröfse dieser Schwankungen schätzt Kämtz[3] im grofsen Ocean zu 3 bis 4 Grad auf jeder Seite, über anderen Meeren sind sie ungleich be-

1 Genauere Bestimmungen hierüber werden im Abschn. E, *geograph. Verbreitung der Winde*, mitgetheilt werden.

2 Vergl. Daniell Meteorol. Essays. p. 102.

3 Meteorologie. Th. I. S. 180.

deutender, wie später gezeigt werden soll. Der Natur der Sache nach müssen die Passate in der Mitte zwischen ihren äufsersten Grenzen hinsichtlich ihrer Richtung und Stärke am regelmäfsigsten seyn, und die Schiffer suchen daher namentlich im atlantischen Ocean auf den Reisen nach America bald diese Gegend zu erreichen, weswegen sie von Madeira aus südlich steuern, um in den Theil des Meeres zu gelangen, welchen die Spanier wegen der Leichtigkeit der Schifffahrt den *Golph der Damen* (*Golfo de las Damas*) nennen, und wo wegen stets fast gleichbleibender Temperatur in der Regel ohne Unterbrechung heiterer Himmel herrscht. Unter die vorzüglichsten Hindernisse der regelmäfsigen Passate gehören die Küsten, aus dem einfachen Grunde, weil diese auf die Temperatur einen bedeutenden Einflufs haben, was schon Musschenbroek[1] ausführlich erläutert hat. Unmittelbar an den Küsten selbst wehen die Passate nicht, weil daselbst die See- und Landwinde herrschen, vielmehr treten sie erst in ungleicher Entfernung von denselben ein. So trifft man sie unter andern an der Ostküste Africa's schon 15 Meilen, an der Westküste America's aber bei Mexico erst 50 Meilen, bei Peru aber erst 100 Meilen von derselben an, und an der Westküste Südafrica's soll sogar eine vom Vorgebirge der guten Hoffnung nach dem Palmen-Cap gezogene Linie ungefähr die Ostgrenze des Passats bezeichnen[2]. Im grofsen Ocean endlich sind sie am regelmäfsigsten, weil sie auf einer langen Strecke durch keine gröfsern Ländermassen modificirt werden. Ausgedehnte Ebenen und Küsten, wenn diese letzteren obendrein eine den Passaten parallele Richtung haben oder einen nicht grofsen Winkel mit ihnen bilden, üben einen bleibenden Einflufs auf dieselben aus, weil sich die Temperatur über den am Meere gelegenen Küsten in den verschiedenen Jahreszeiten nur wenig und nur langsam ändert.

20) Wir haben bisher die Hauptursachen der Winde im Allgemeinen und der Passate im Besondern, nämlich Ungleichheit der Temperatur und Axendrehung der Erde, in ihrer einfachsten Gestalt betrachtet, und es unterliegt keinem Zweifel, dafs diese wirklich als solche gelten dürfen; zugleich aber liegt es in der Natur der Sache, dafs noch eine Menge anderer mo-

1 Introd. ad phil. nat. T. II. §. 2558.
2 Kämtz Meteorologie. Th. I. S. 207.

dificirender Bedingungen hinzukommen, die einen sehr bedeutenden Einfluſs ausüben, weswegen es für einzelne gegebene Fälle nicht selten sehr schwer und fast unmöglich ist, die hieraus entstehenden Anomalieen zu entwirren und die Erscheinungen naturgemäſs zu erklären. Vorzüglich haben Dove's[1] Untersuchungen Licht über dieses dunkle Problem verbreitet. Denken wir uns die Sonne im Aequator und die ihren senkrechten Strahlen ausgesetzten Luftmassen erwärmt, wodurch sie aufsteigen und den seitwärts in sie einströmenden Platz machen, so entsteht hieraus auf der einen Seite der NO.-, auf der andern der SO.-Passat. Da, wo beide zusammenstoſsen, muſs Windstille, mit Stürmen abwechselnd, entstehn, welches Dove mit dem Verhalten einer Lichtflamme vergleicht, nach welcher von allen Seiten her die Luft hinströmt. Hieraus entsteht von selbst eine äuſsere und eine innere Grenze der beiden Passate mit einem Zwischenraume, welchen die Seefahrer die *Gegend der Windstillen* oder der *veränderlichen Winde* nennen. Wären keine sonstigen Einflüsse hierbei wirksam, so müſste diese Zone stets von gleicher Breite und rücksichtlich ihres Ortes unveränderlich seyn; der Erfahrung nach wechseln aber beide, und es lassen sich auch die Ursachen auffinden, weswegen daselbst nicht bloſs Windstillen, was am einfachsten wäre, sondern auch veränderliche, der Richtung nach den Passaten sogar entgegengesetzte, Winde wehen, so wie sich nicht minder auch diejenigen Bedingungen leicht darbieten, welche bewirken, daſs die Breite dieser Zone gleichfalls wechselt.

21) Die erste und wesentlichste mitwirkende Ursache liegt in der veränderlichen Declination der Sonne, wodurch die Zone der stärksten Hitze jährlich einmal nördlich und einmal südlich rückt, zweimal aber mit dem Aequator zusammenfällt. Hiernach fällt die Zone der Windstillen zur Zeit des Sommersolstitiums in den Wendekreis des Krebses und geht dann zum Wendekreise des Steinbocks wieder zurück, wobei im ersten Falle die Strömungen des SO.-Passates bis über den Aequator hinaus vordringen, im letzteren aber die des NO.-Passates bis zur südlichen Halbkugel gelangen. Hierbei bietet indeſs die Zeitdauer, welche bis zum Eintritt der stärksten Erwärmung erfordert wird, ein neues Hinderniſs dar, wozu noch kommt, daſs die Räume, in

1 Poggendorff's Ann. Th. XXI. S. 177 ff.

welche die strömenden Luftmassen gelangen, wegen der Kugelgestalt der Erde stets kleiner werden, wenn die Strömung vom Aequator nach den Polen hin statt findet, dagegen aber im umgekehrten Falle sich stets vergröfsern. Aufserdem mufs auch die einmal statt findende Bewegung der Passate den nördlich oder südlich fortrückenden Luftmassen ein Hindernifs entgegenstellen. Endlich kann die Zone der Windstillen nicht mit dem astronomischen Aequator zusammenfallen, sondern vielmehr mit einem *thermischen*, welcher im Allgemeinen nördlich vom Aequator liegen[1], zugleich aber durch den Einflufs des Landes bedeutende Einbiegungen erhalten mufs. So werden unter andern die ausgedehnten Ebenen Africa's anziehend wirken, die Hochgebirge Südamerica's aber abstofsend, und er nähert sich daher aus beiden zusammenwirkenden Ursachen über diesem Theile der Erde dem Nordpole, indem der Einflufs der Jahreszeiten hierdurch zugleich vermindert wird. Als einen gleichfalls bedingenden Umstand betrachtet Dove die ungleiche Gröfse der Parallele, in welche die NO.- und SO.-Passate gelangen, wenn sie den Aequator überschreiten, indem mit der Abnahme dieser Parallele auch die Rotationsgeschwindigkeit kleiner wird und somit die Richtung des Südost-Passates in eine südwestliche, des nordöstlichen aber in eine nordwestliche übergehn mufs. Inzwischen ist, die Länge eines Grades im Aequator zu 15 Meilen angenommen[2], die des Paralleles unter 23° Breite = 13,802, der Unterschied beider beträgt daher nur nahe 0,08 und kann daher auf die erlangte Rotationsgeschwindigkeit keinen bedeutenden Einflufs ausüben. Aus allem diesem geht hervor, dafs durch die angegebenen Ursachen aufser den beständigen Winden auch periodische entstehen müssen, die zwar mit den Passaten zusammenfallen, aber dennoch eine besondere Betrachtung verdienen.

22) b) Zu den *periodischen Winden* gehören vorzugsweise die *Moussons* oder *Monsoons* der Engländer, Winde, welche einen Theil des Jahres anhaltend nach einer, einen

---

1 Aepinus in Cogitationes de distributione caloris per tellurem setzt das Wärmeverhältnifs der beiden Halbkugeln wie 14:13, Prevost in Journ. de Phys. 1791, Gren's Journ. d. Phys. Th. VII. S. 88, wie 11:9, und hiernach soll die innere Grenze des NO.-Passates in 4° N.B. liegen, daselbst aber mit dem SO.-Passate zusammentreffen.

2 Vergl. Art. *Erde*. Bd. III. S. 935.

andern nach einer verschiedenen, zuweilen entgegengesetzten, Richtung wehen, in den Zwischenzeiten aber mit Windstillen oder Stürmen abwechseln. Nach Forrest[1], Capper[2] und Andern[3] kommt diese Benennung vom malayischen Worte *Mussin*, Jahrszeit, her, nach Marsden[4] bezeichnet das Wort *Musim* Jahr; die Griechen nannten auf gleiche Weise die auf dem mittelländischen Meere herrschenden Winde *Etesien*, von ἔτος das Jahr, eigentlich ἐτήσιοι βορέαι, die in den Hundstagen wehenden Nordwinde, welche die Hitze abkühlten[5], doch bezeichnet Arrian[6] dadurch auch den NO.-Passat an der Südküste Asiens. Kämtz[7] bemerkt, daſs die Griechen zur Zeit Alexander's die indischen Moussons nicht wohl kennen konnten, weil Nearchus vom Indus bis zum persischen Meerbusen die beschwerliche Küstenfahrt machte. Später fuhr Hippalus von Aegypten nach Indien mit Benutzung dieses Windes, welcher dann nach seinem Namen genannt wurde[8]. Nach den gelehrten Untersuchungen, welche Ideler[9] über die Meteorologie der Alten angestellt hat, scheinen ihnen die periodischen Winde der äquatorischen Zone gänzlich unbekannt gewesen zu seyn. In specieller Beziehung auf die Moussons wären diese vielleicht ganz unbeachtet geblieben, wenn sie sich nicht im indischen Meere so hervorstechend charakteristisch zeigten. Uebrigens können die auf dem mittelländischen Meere herrschenden Nordwinde füglich als den Passaten zugehörig betrachtet werden, sofern sie durch das Eindringen der kalten Nordluft in die wärmere südliche entstehn, nach Dénon[10] in den Sommermonaten anhaltend herrschen und mit Stürmen wechseln. Sie erstrecken sich nach Olivier[11] bis zum Archipelagus und

---

1 On Monsoons. p. 95.

2 On the Winds and Monsoons. Lond. 1801. Vergl. Bibl. Brit. T. XXVI. p. 318.

3 Lichtenberg zu Erxleben's Naturl. §. 717.

4 History of Sumatra. p. 15.

5 Aristoteles Problem. L. XXVI. p. 2. Herodot L. II. c. 20.

6 Anab. L. VI. c. 23.

7 Meteorol. Th. I. S. 167. Nach Robertson history of Scotland and historical disquisition concerning ancient India. Frankf. 1828. p. 529.

8 Periplus mar. eryth. p. 32. Plin. H. N. L. VI. c. 23.

9 Meteorologia veterum Graecorum et Romanorum. Berol. 1832.

10 Voyage. p. 12.

11 Turquie. T. II. p. 294.

sind auch auf Creta die herrschenden, wo im November, December und Januar fast ohne Unterbrechung Südwinde wehen[1].

23) Aus dem, was über die Passate gesagt worden ist, geht von selbst hervor, dafs der durch den Unterschied der Sonnenhöhe veranlafste Wechsel ihrer Grenzen in Verbindung mit andern localen Ursachen im Stande sey, die regelmäfsigen periodischen Winde zu erzeugen. Ueberhaupt lassen sich nach Dove[2] in Beziehung auf diese Winde folgende Resultate erwarten. In Gemäfsheit der stets zur Erzeugung der Winde wirkenden Ursachen erhalten wir zuerst die *Gegend der Windstillen* zwischen beiden Passaten, mit den stärksten tropischen Regen, worin zwei sich an einander schliefsende Regenzeiten herrschen und der Ostwind als Folge beider Passate noch kenntlich bleibt. An diese grenzen zweitens die beiden *Passatzonen*, mit fortdauernden Passaten, welche letztere mehr zur östlichen Richtung übergehn, wenn die Sonne höher steht, in welchem Falle dann zugleich Niederschläge erfolgen. An den äufseren Grenzen beider liegen drittens die subtropischen Zonen, mit Winterregen in Folge der herabkommenden Westwinde und mit trockner Witterung, wenn sich im Sommer die Passate bis zu ihnen erstrecken. Die Lage dieser drei Zonen wird durch den *thermischen Aequator* bedingt. Die erste derselben ist sehr schmal und zeigt sich völlig ungestört vielleicht nirgends; die zweite erstreckt sich auf der nördlichen Halbkugel über dem atlantischen Oceane vom 15ten bis 24sten Grade N. B. Aus dem Ineinandergreifen der Gegenden der Windstillen und der Zonen constanter Passate leitet Dove zwei Classen von Winden ab, zuerst die der intermittirenden, wenn ein Passat im Jahre mit der Zeit der Windstillen wechselt, also eine constante Windrichtung einige Zeit ohne entgegengesetzten Wind unterbrochen wird und dann die Zeit der Wolken und des Regens giebt, wie v. Humboldt dieses beschrieben hat[3], und zweitens die intermittirenden, wenn beide Passate mit einander wechseln. Diese Erscheinung zeigt sich am reinsten bei den indischen Moussons, minder bestimmt bei den Westmoussons unter der Linie im atlantischen Meere. Durch die Lage

---

1 Sieber Creta. Th. II. S. 31.
2 Poggendorff's Ann. Th. XXI. S. 192.
3 Ann. de Chim. et Phys. T. VIII. p. 179.

Guinea's wird der NO.-Passat so weit nördlich gerückt, dafs unter dem Aequator vom Juni bis September Regen bringende SW.- und WSW.-Winde bis zu den capverdischen Inseln herrschen.

24) c) Zu den beständigen Winden gehören ferner die *Land-* und *See-Winde*, schwache Winde, welche von den Schiffern *Brisen* (brise; *breeze*) genannt werden. Die Entstehung derselben folgt unmittelbar aus dem als allgemein aufgestellten Grundsatze. Bei Tage wird die Luft über den Küsten des Festlandes und vorzüglich der Inseln stark erwärmt, steigt daher in die Höhe und die kältere über dem Meere dringt in dieselbe ein; bei Tage wehet also der Wind dem Lande zu, man hat Seewind. Während der Nacht findet das Gegentheil statt, die Luft über dem Meere kühlt sich weniger ab, die vom Lande dringt in sie ein und es entsteht Landwind; zwischen beiden Wechseln aber tritt Windstille ein. Dieser periodische Wind zeigt sich an allen Küsten, wenn nicht starke herrschende Winde sein Entstehen hindern, denn er ist nur schwach, dringt nicht weit in das Land ein und entfernt sich gleichfalls nicht weit von den Küsten. Sowohl der eine als auch der andere müssen anfangs schwach beginnen und erst später ihre gröfste Stärke erreichen, die aber, nach der oben (§. 18) angegebenen Formel berechnet, überhaupt nicht sehr bedeutend seyn kann. Sie werden vorzugsweise in den heifseren Gegenden gefunden, wo der Unterschied der Temperaturen am gröfsten ist und zugleich keine starken Winde herrschen. Marsden[1] beobachtete sie bei der Insel Sumatra, Semeyns[2] zu Batavia, Le Gentil[3] zu Pondichery, nach Caldcleugh[4] fängt der Landwind zu Rio Janeiro erst spät Abends, zuweilen sogar nach Mitternacht an, und dauert bis Morgens 8 Uhr, nach Koster[5] aber wehet zu Pernambuco von 9 Uhr Morgens bis Mitternacht der Seewind, welcher die Hitze sehr mildert; während der übrigen Zeit herrscht Landwind und zwischen beiden tritt Windstille ein, wobei die Hitze am gröfsten ist, verschiedener anderer

1 History of Sumatra. p. 18.

2 Verhandelingen uitg. door de Hollandse Matschappy to Haarlem. T. II. p. 415.

3 Voyage. T. I. p. 480.

4 Reisen im Südmeere. Weim. 1816. S. 15.

5 Reise in Brasilien. Weim. 1817. S. 20.

Nachrichten nicht zu gedenken[1]. Vorzugsweise findet man diese Winde in vollkommen regelmäſsigem Wechsel nur in demjenigen Striche der äquatorischen Zone, wo zugleich Windstillen oder schwache Passate herrschen, doch zeigen sie sich auch zuweilen unter mittleren Breiten. Unter Andern fand ihn SIEBER[2] auf Creta, SEIGNETTE[3] zu Marseille, und BRANDES[4] weiset nach, daſs er sich an vielen Orten Italiens findet. Padua hat bei heiterem Wetter fast an allen Tagen Morgens Nordwind, Mittags und Abends Südwind, wobei der nördliche zuweilen bis Mittag dauert, zuweilen sich schon des Abends wieder zeigt, Mittags aber südlich und westlich, zuweilen auch südöstlich wird. Minder häufig trifft man diesen regelmäſsigen Wechsel zu Bologna, nämlich am Morgen West, Mittags und Abends Ost, und ebenso geben die Beobachtungen für Rom Morgens Nordwind, Mittags und Abends Süd- und Westwind als vorherrschend. Selbst unter höheren Breiten findet man Spuren derselben, wie z. B. REYGER sie zu Danzig wahrnahm und *Unterwinde* nennt, weil sie bloſs den unteren Luftschichten zugehören, ja sogar an Grönlands Ostküste glaubte SCORESBY[5] einen solchen Wechsel anzutreffen.

25) Einige minder bekannte Thatsachen hat KÄMTZ[6] zusammengestellt, um zu zeigen, daſs durch ungleiche Erwärmung der Luft das Einströmen der kälteren Massen in die wärmeren allezeit statt finden und sich durch die Richtung der entstandenen Winde zeigen müsse, wenn nicht aus anderen, meistens entfernteren, Ursachen die Luft bereits in eine starke Bewegung gesetzt ist, so daſs partiell mit geringerer Kraft wirkende diese nicht überwinden können. Die einfachste hierher gehörige Erscheinung zeigt sich nach meiner Ansicht unter mittleren Breiten sehr häufig, indem man an sehr heiſsen Tagen und bei ruhiger Luft an den Seiten dicht bewachsener Wälder einen aus diesen mit gröſserer oder geringerer, allezeit aber bemerkbarer, Geschwindigkeit sich bewegenden Wind wahrzunehmen pflegt; eine Umkehrung dieser Richtung während der

1 Vergl. ROMME Tableaux des Vents cet.
2 Reise nach Creta. Th. II. S. 30.
3 Ephemer. Soc. Met. Palat. 1782. p. 501.
4 Beiträge zur Witterungskunde. S. 135.
5 Reise auf d. Wallfischfang. S. 247.
6 Meteorologie. Th. I. S. 171 u. 210.

Nacht habe ich nie wahrgenommen, und dieses ist auch der Natur der Sache nach nicht wohl möglich. Leichter wird ein eigentlicher Wechsel an den Ufern grofser Landseen wahrgenommen, und wirklich geschah dieses durch von HALLER [1] bei den Schweizerseen, durch ELLICOT [2] zu Presqu'ile am Erie-See, durch MARTENS [3] auf dem Gardasee und durch SCHÜBLER [4] auf dem Bodensee. Von den beeiseten Spitzen hoher Berge und aus kühlen Thälern sinken anhaltend oder periodisch die kalten Luftmassen herab, wenn nicht stärkere, ihnen entgegengesetzte Strömungen die anfänglich schwachen, in ihrem Fortgange stärker werdenden, Bewegungen hindern. KÄMTZ setzt hiermit den Umstand in Verbindung, dafs die Alten häufig die Gebirge als den Sitz der Winde betrachteten. Ein auffallendes Beispiel liefert der hier (in Heidelberg) herrschende, genau beobachtete Neckarwind, welcher dadurch entsteht, dafs aus den verhältnifsmäfsig tiefeingeschnittenen, durch Quellen stets kühl gehaltenen, nahe perpendiculär gegen den Neckar hinlaufenden, Thälern die kalte Luft zum Flusse hin herabströmt und wie bei den Passaten eine mit dem Flusse zusammenfallende östliche Richtung annimmt, die sich beim Austritte aus dem Thale in eine nordnordöstliche verwandelt. An Abenden nach heiteren und windstillen Tagen ist die Luftbewegung so stark, dafs sie am Ausgange der Thäler unangenehm wird und ihrer Kälte wegen vermieden werden mufs, was sich daraus erklären läfst, dafs am Tage der durch die Sonnenstrahlen über den Thälern erzeugte aufsteigende Luftstrom das Herabfliefsen hindert, was nach Entfernung dieser Ursache sofort beginnt. Wird der partielle östliche, später nordöstliche Wind durch die allgemeine Luftströmung unterstützt, so erreicht er eine solche Stärke, dafs er die Biegung der Obstbäume bedingt, welche derjenigen entgegengesetzt gerichtet ist, die man in der Umgegend dieses speciellen Striches gewahrt. Aehnliche periodische Winde findet man an einigen Stellen des Rheins, allgemeiner aber und minder örtlich bedingt ist der heftige Nordwind, welcher bei Windstille während der Nacht blofs am Tage in der turkomannischen Ebene zwischen Bir und Orfa nach BUCKING-

1 Nov. Comm. Soc. Gott. T. I. p. 30.
2 G. XXXII. 324.
3 Hertha. 1829. Febr.
4 Ebendaselbst.

HAM's[1] Erzählung weht und von dem mit Schnee bedeckten Rücken des Taurus herabkommt. Wie v. HUMBOLDT[2] berichtet, weht im Thale des Amazonenstromes jeden Tag, zwei Stunden nachdem die Sonne durch den Meridian gegangen ist, ein periodischer Wind von bedeutender Stärke, so dafs er bisweilen in Sturm ausartet. Er soll eine Folge des Passates seyn, welcher durch die Richtung des Stromes und örtliche Bedingungen modificirt wird.

26) d) Es läfst sich hier noch eine eigenthümliche Classe von Winden anreihen, deren Ursprung aus ungleicher Erwärmung der Luft leicht erklärlich ist. Hauptsächlich in Deutschland, sowohl dem nördlichen, als auch dem südlichen, tritt seltener schon im März, häufiger im April und nicht eben selten im Mai eine Periode ein, während welcher es bei Nacht meistens heiter ist, bei Tage aber einzelne dicke Wolken sich ziemlich schnell am Himmel bewegen. Ist die Sonne frei, so erwärmt sie stark, die Temperatur ist mild, mitunter warm, und es herrscht Windstille oder man fühlt kaum merkliche Luftbewegung; wird aber die Sonne durch eine der dicken Wolken auf längere oder kürzere Zeit bedeckt, so verspürt man augenblicklich empfindliche Kälte und einen stärkeren, zuweilen sehr merklichen Wind. Beide Erscheinungen verschwinden, nachdem die Sonne wieder frei geworden ist. Diesen durch partielle Abkühlung entstehenden Wind erwähnt schon LA HIRE[3], läfst aber die wärmere Luft an der Erde in den abgekühlten Raum einströmen, BRANDES[4] dagegen nimmt an, die durch den Schatten der Wolke abgekühlte Luftsäule rücke in Folge der gewöhnlich etwas schnell fortschreitenden Wolke weiter und erzeugte hierdurch den Wind. Nach jener Ansicht liegt die Ursache der Luftbewegung in der Zusammenziehung der Luftmasse in Folge der Abkühlung, weswegen die wärmere und daher elastischere in den verdünnteren Raum eindringen soll, nach dieser dagegen bewegt sich die kältere und dadurch schwerere Luft in derjenigen Richtung, in welcher die Abkühlung durch den Schatten fortschreitet, und dieses ist

1 Mesopotamien. S. 51. Nach KÄMTZ Meteor. Th. I. S. 171.
2 Dessen Reisen. Deutsche Ueb. Th. IV. S. 151.
3 Acad. Reg. Scient. Historia. Auct. DU HAMEL. p. 259.
4 Beiträge zur Witterungskunde. S. 367.

offenbar richtiger, denn das Eindringen nach LA HIRE würde blofs dann statt finden, wenn eine Säule der erwärmten Luft durch plötzliches Vortreten einer Wolke vor die Sonne augenblicklich abgekühlt würde, statt dafs die bewegte Wolke schon früher einen Schatten erzeugt, ehe der angenommene Beobachter in denselben kommt, und das meistens schnelle Fortschreiten desselben nothwendig eine Bewegung der abgekühlten und dadurch schwereren Masse zur Folge haben mufs. Es scheint mir aber noch eine Ursache hinzuzukommen, die man wohl nicht ganz übersehn darf. Wenn sich dieses Phänomen zeigt, so herrscht gleichzeitig eine nicht geringe Luftbewegung in den oberen Regionen, die aus dem raschen Fortschreiten der Wolken ersichtlich ist, sich aber den unteren stark erwärmten und daher aufsteigenden Schichten nicht mittheilen kann; fällt aber dieses Hindernifs durch den erzeugten Schatten weg, so nehmen auch die über der Erdoberfläche befindlichen Luftmassen die allgemeine Bewegung an und auch in ihnen wird der herrschende Wind fühlbar. Es findet hierbei demnach das Nämliche statt, als was so eben über das Herabströmen der kalten Luft aus den Thälern erwähnt worden ist, welches erst am Abend auffallend merkbar wird. Aus dem Herabsinken kälterer Luftmassen in wärmere mufs auch wohl die zu Triest so gefürchtete *Bora* abgeleitet werden. Dieser Wind, ein Nord- oder Nordostwind, erhebt sich plötzlich, gehört hauptsächlich dem Winter an, herrscht zuweilen drei Tage anhaltend, macht das Meer bis Fiume hin unsicher, tobt aber am stärksten zu Triest, wo er das Meer in die Stadt hineintreibt und dadurch bedeutenden Schaden anrichtet. Er kommt aus einer Spalte des Monte Spaga, ist verhältnifsmäfsig kalt und trocken, und soll auf die Vegetation nachtheilig wirken[1].

27) Wie sehr die dickere und dadurch schwerere Luft das Bestreben habe, in die wärmere leichtere einzudringen, geht aus den bisher mitgetheilten Untersuchungen genügend hervor, und zeigt sich aufserdem sehr auffallend in dem Einflusse, welchen die durch grofse Eismassen in den Polarmeeren stark abgekühlte Luft in dieser Beziehung ausübt. Nähert man sich den Eisbergen oder Eisfeldern, so empfindet man sofort einen von

---

1 Nach den Aussagen der Einwohner Triests. Vergl. WAGNER in Kastner's Archiv. Th. VI. S. 80.

ihnen wehenden kalten Wind, allein noch ungleich merkwürdiger sind die Beobachtungen, welche unter Andern Scoresby[1] im nördlichen Polarmeere zu machen häufige Gelegenheit hatte. Die über mächtigen Eisfeldern ruhende kalte und schwere Luft leistet, zum Theil wohl wegen ihrer Adhäsion an dem rauhen Eise, dem Winde einen solchen Widerstand, daſs es eine geraume Zeit dauert, bis sogar ein Sturm von der einen Seite solcher groſser Massen bis zur andern derselben gelangt, und daſs er daselbst allezeit bedeutend schwächer ist, als auf offener See. Zuweilen bewegt sich die vom Eise kommende Luftströmung dem auf sie von offener See her treffenden Winde entgegen, und wenn letzterer auch stark ist, so entsteht doch nicht selten ein Kampf beider, welcher den Sturm etliche Stunden lang bis auf ein Viertel engl. Meile weit vom Rande des Eises zurückhält. Südlichere warme und mit Wasserdampf überladene Luftmassen werden durch diese Mischung abgekühlt, und es fällt eine Menge Schnee auf dem Eise nieder. G. G. Schmidt[2] macht auf den Wind aufmerksam, welcher in der Regel den Gewittern vorauszugehn pflegt, und leitet auch diesen von einer partiellen Abkühlung der Luft her, nicht aber von der früher angenommenen elektrischen Abstoſsung derselben. Die Abkühlung betrachtet er als Thatsache, und findet ihre Ursache theils in der durch die Wetterwolke verursachten Beschattung, theils in der mit dem Regenfall nothwendig verbundenen Abkühlung. Die Abkühlung soll an einem heiſsen Tage wohl 12°,5 bis 18°,75 C. betragen, und wenn auch nur 12°,5 angenommen werden, so würde doch die Verdichtung der unter der Wolke befindlichen Luftmasse 0,05 ihres Volumens ausmachen, in deren Folge eine 4000 Fuſs hohe Luftsäule eine Geschwindigkeit von 25 Fuſs in 1 Sec. erhalten müſste, wodurch dann die Stürme vor den Gewittern erklärlich werden sollen. Obschon die durch Gewitter bewirkte Abkühlung eine Luftbewegung erzeugen muſs, wie wir sogleich sehn werden, so reicht doch diese Ursache nicht hin, das ganze Phänomen zu erklären. Abgesehn davon, daſs die Stür-

---

1 An Account of the Arctic Regions. T. I. p. 296. Vergl. Memoirs of the Wernerian Soc. P. II. Vol. II. p. 318. übersetzt in G. LXII. 1 ff.

2 Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. Gieſsen 1826. S. 219.

me oft vor den Gewittern hergehn, ehe Beschattung und Abkühlung durch Regen statt gefunden hat, und eine Geschwindigkeit von 25 Fuſs zur Erklärung der beobachteten Wirkungen der Gewitterstürme nicht genügt, die Gewalt des Windes auch bei denjenigen Gewittern am gröſsten ist, die am tiefsten gehn, wo sie dieser Theorie nach am geringsten seyn müſste, werden die Gewitter, mindestens in den bei weitem meisten Fällen, durch ungleich warme Luftmassen erzeugt, die schon früher in starker Bewegung sind, wie das Sinken der Barometer andeutet, und welche dann in Folge ihres Zusammentreffens diese Bewegung durch verschiedene Ursachen vergröſsern.

Diesen Erscheinungen ähnlich ist eine andere, die nach Brandes[1] zuerst durch Volta beachtet wurde, daſs nämlich die durch Gewitterregen und noch mehr durch Hagel abgekühlte Luft nach allen Seiten in Folge ihres gröſseren Gewichtes abflieſst. Kämtz[2] bestätigt dieses durch eine Erfahrung, die er selbst zu machen Gelegenheit hatte. Ein Gewitter mit Westwind überraschte ihn im Freien, der Wind wurde bei der Annäherung desselben sturmartig, ging fast in Windstille über, als er sich mitten darin befand, und erhielt eine östliche Richtung, als die stark regnende Wolke über sein Zenith weggezogen war. Der Wind nach solchen Gewittern soll allezeit trocken seyn, wie Volta angiebt, was Brandes aus der Kälte und der hiernach nothwendigen gröſseren Trockenheit der herabsinkenden Luftmassen ableitet, mit dem Zusatze, daſs die kalte und trockne Luftströmung zuweilen erst am folgenden Tage eintrete, weil die untere, sehr erkaltete Luft durch ihr gröſseres Gewicht das Herabsinken der oberen hindere; inzwischen möchte ich diese letztere und überhaupt die ganze Ansicht in Zweifel stellen. Ist einmal eine groſse Luftsäule bedeutend gegen ihre Umgebung abgekühlt, so muſs sie seitwärts abflieſsen und dadurch die oberen Massen herabsinken machen; ob aber die durch Gewitterregen oder Hagel abgekühlte Luftsäule in der Regel eine nach allen Seiten von ihr ausgehende Luftbewegung erzeuge, dürfte wohl mit der Erfahrung nicht übereinstimmen, vielmehr die durch Kämtz gemachte Beobachtung als Ausnahme zu betrachten seyn. Wird die Luft

1 Beiträge zur Witterungskunde. S. 369.

2 Meteorologie. Th. I. S. 212.

durch einen starken Gewitterregen, noch mehr aber durch Hagel, bedeutend abgekühlt, welche beide Processe der Natur der Sache nach mit dem Herabsinken kalter Luftmassen aus bedeutenden Höhen verbunden sind, so entsteht durch verschiedene mächtig zusammenwirkende Ursachen in der Regel eine starke, mit Sturm beginnende Luftströmung, welche kein Abfliefsen nach allen Seiten gestattet, vielmehr zu einer bestimmten Richtung entschieden übergeht und diese dann eine Zeit lang verfolgt, weswegen nach Volta die Gewitter meistens ihre einmal angenommene Richtung beibehalten. Ob übrigens der Wind nach starken Gewittern, und insbesondere nach Hagelschauern, in der Regel trocken sey, dürfte mit Grund bezweifelt werden, da vielmehr meistens nach vorhergegangener Trockenheit auf eine solche Katastrophe fortdauernder Regen, nach Hagelwettern meistens mit bedeutender Kälte verbunden, zu folgen pflegt; nur einmal, im Jahre 1824, erlebte ich eine darauf folgende Wärme bei heiterem Himmel, welche Witterung jedoch nur bis zum nächstfolgenden Tage anhielt, in allen andern von mir beobachteten Fällen folgte auffallende Kälte mit Nässe.

28) e) Als einen eigenthümlichen Wind möchte ich auch den Ostwind hervorheben, welcher insbesondere im nördlichen Deutschland häufig einige Wochen nach den Frühlingsnachtgleichen nicht eben mit bedeutender Stärke, aber lange, zuweilen mehrere Wochen, anhaltend weht. Auch im südlichen Deutschland findet man solche Winde, und sie scheinen mir daselbst früher anzufangen, aber minder anhaltend zu seyn. Das Wetter ist zu dieser Zeit fortdauernd heiter, die Luft sehr trocken, so dafs sie leicht entzündlich auf die Respirationsorgane wirkt, es herrscht ein schwacher Ostwind, welcher am Morgen kurz nach Sonnenaufgang am stärksten ist, gegen Mittag nicht blofs schwächer wird, sondern auch in schwachen Südwind und später selbst Südwestwind übergeht, Abends nach Sonnenuntergang aber wieder nach Ost überspringt. Weil der Wind ungeachtet der dann vorhandenen Winterfeuchtigkeit den Boden stark austrocknet, so pflegen die niedersächsischen Landleute wohl die sieben Wochen zwischen Ostern und Pfingsten, in welchen Zeitraum er fällt, die *sieben Soren* (verwandt mit dem gebräuchlicheren *aussoren* statt austrocknen) zu nennen. Nach meiner Ansicht ist dieser Wind als eine Art Nord-

ostpassat zu betrachten, welcher durch den Andrang der Polarluft gen Süden dann entsteht, wenn die Sonne den Aequator überschreitet, und welcher in Folge örtlicher starker Erwärmung durch die bei heiterem Himmel von Ost durch Süd nach West täglich bewegte Sonne eine südliche, seltener und in geringerem Grade eine etwas westliche Richtung annimmt.

29) f) Eine eigene, sehr wichtige Classe von Winden bilden die sogenannten *heifsen*, die sich nicht sowohl durch ihre Heftigkeit als vielmehr durch ihre hohe Temperatur auszeichnen und mitunter Wirkungen äufsern sollen, die sich selbst aus ihrer übergrofsen Hitze nicht einmal vollständig ableiten lassen. Werden Luftmassen aus solchen Gegenden herbeigeführt, wo der trockne und sandige Boden durch die direct auffallenden Sonnenstrahlen bis zu einem unglaublichen Grade erhitzt ist, so müssen diese eine Temperatur haben, wie sie sich in den heifsen Winden zeigt, denn wenn wir, um nur einige Angaben der Reisenden hier anzuführen[1], aus glaubhaften Berichten entnehmen, dafs die Hitze auf Neuholland im Sande 51° C und sogar im Schatten 40°,5 bis 45°,5 anhaltend, für eine kurze Zeit aber im Schatten fast 54° C., im Sande der Llanos von Venezuela aber 52°,5 bis 60°, und bei Ombos einige Fufs über dem Boden 54° C. erreicht, so ist nicht zu verwundern, dafs die Reisenden in den aus solchen Gegenden herbeigeführten Luftmassen fast verschmachten und bei etwas anhaltender Dauer derselben selbst der Todesgefahr ausgesetzt sind. Die nachtheiligen Wirkungen der heifsen Winde würden noch ungleich furchtbarer seyn, wenn nicht glücklicher Weise die so erhitzten Luftmassen eben hierdurch eine Tendenz zum Aufsteigen erhielten, so dafs sie sich verhältnifsmäfsig sehr selten in horizontaler Richtung bewegen, ungleich häufiger aber in senkrechter, wodurch sie den seitwärts eindringenden kälteren Schichten Platz machen, selbst aber unschädlich, ja vielmehr durch ihr Abfliefsen nach höheren Breiten hin wieder nützlich werden. Hierin liegt die Erklärung der heifsen Winde im Allgemeinen; es kommen aber bei den einzelnen noch specielle örtliche Bedingungen hinzu, die noch besonders bemerkt werden müssen, weswegen die bekanntesten unter ihnen einzeln untersucht zu werden verdienen.

---

1 S. Art. *Temperatur* Bd. IX. S. 462 ff.

α) Harmattan.

30) Dieser Wind, dessen Name nach Dobson[1] aus *Aberrahmantah* (von *aberrahman* wehen und *tah* Unschlitt) corrumpirt seyn soll, weil die Neger gegen seinen Einfluſs ihren Körper mit Fett beschmieren, weht in kurzen Perioden auf der Westküste Africa's, vorzüglich in Senegambien, ist ausnehmend trocken und wegen des mitgeführten feinen Staubes lästig[2]. Nach Monrad[3] hält er auf der Goldküste nur etwa acht Tage an, ist dort eher kühlend und mindestens sehr heiter aus NO. wehend. Auch Dobson[4] nennt ihn einen Nordostwind, und hebt vorzüglich seine Trockenheit hervor, welche bewirkt, daſs sogar zerflossene Pottasche durch ihn wieder fest wird; zugleich erwähnt er den feinen, ihn begleitenden Nebel von unbekannter Natur, der aber vermuthlich nichts anderes als der feine Sandstaub ist, welchen er mit sich führt. Hält derselbe länger, bis etwa 12 Tage an, so senken sich die Zweige der Bäume, die Blätter welken und werden zuletzt so trocken, daſs man sie zerreiben kann, Holz und Tafelwerk schwinden, die menschliche Haut wird spröde und schält sich ab, doch schadet er nur den Vegetabilien, nicht aber den Animalien, indem er vielmehr alle fauligen Krankheiten, Rheumatismen und Fieber sofort heilt. Die Abkühlung, welche er seiner hohen Temperatur ungeachtet gewährt, ist nach Monrad eine Folge eben des feinen Staubes, welchen er aus dem Innern des Landes kommend mit sich führt, wodurch die Sonne so verdunkelt wird, daſs man hineinsehn kann. Eben dieser Schriftsteller bestätigt seine ausnehmende Trockenheit, welche auſser den genannten Wirkungen auch verursacht, daſs die Tinte in den Federn beim Schreiben vertrocknet, weswegen er auch auf arabisch bloſs trockner Wind heiſst. Die Periode seines Wehens fällt um Weihnachten. Dagegen redet Clapperton[5] von ihm als einem am 18ten und 22sten Februar anhaltenden Winde,

---

1 Philos. Trans. 1781. p. 52. Journ. de Phys. T. XX. p. 48.

2 Dampier's Reise um die Welt. Deutsche Ueb. Leipz. 1708.

3 Gemälde der Küste von Guinea. Weimar 1824. 8. S. 271.

4 Philos. Trans. 1781. T. LXXI. p. 46. Lichtenberg's Magaz. Th. I. St. IV. S. 41.

5 Tagebuch der zweiten Reise ins Innere von Africa. Weimar 1830. S. 88.

hebt seine grofse Trockenheit hervor, nennt ihn aber gleichfalls kalt. Hiernach besteht also dieser Wind aus nichts weiter, als den Strömungen der Luftmassen, die über den heifsen Sandwüsten Africa's ausnehmend ausgetrocknet sind und eine bedeutende Menge aufgehobenen feinen Sandes mit sich führen, ohne den eigentlichen *Sandstürmen* (§. 37) anzugehören. Wenn aber Dobson die nachtheiligen Wirkungen desselben als eine Folge der schädlichen Dünste angiebt, welche die Sonne während der in den Monaten März und April in jenen Gegenden häufig fallenden Regen aufzieht, so steht dieses mit der von ihm selbst angegebenen grofsen Trockenheit in so auffallendem Widerspruche, dafs man sich wundern mufs, wie ihm dieser entgehn konnte. Es darf zugleich nicht unbemerkt bleiben, dafs der Harmattan nach Monrad an der Goldküste um Weihnachten, nach Clapperton im Innern von Africa im Februar, nach Dobson aber in Senegambien etwa im Mai wehen soll. Dieses und die verschiedenen Richtungen, die ihm beigelegt werden, lassen schliefsen, dafs der arabische Name dieses Windes nichts anderes als den trocknen Wind bezeichne, welcher von der grofsen africanischen Wüste her in ungleichen Zeiten und nach verschiedenen Richtungen weht. Seine schädlichen Wirkungen endlich, wenn wir diejenigen unbeachtet lassen, welche er gegen die Pflanzenwelt äufsert, sind entweder unbedeutend oder gar nicht vorhanden, doch giebt Dampier an, dafs er wegen des feinen bräunlichen Staubes, der sich oft bis zu einer Linie hoch anhäufe, nicht blofs dem Athmen, sondern auch den Augen sehr beschwerlich falle.

β) Sirocco.

31) Von diesem Winde ist weit weniger die Rede, sofern er in Africa weht, als inwieweit er nach seinem Uebergange über das Meer in andern Ländern seine unangenehmen Wirkungen äufsert. Es läfst sich daher mit grofser Wahrscheinlichkeit annehmen, dafs er in jenem Welttheile nicht als ein eigenthümlicher existirt, sondern vielmehr eine blofse Fortsetzung des Harmattan ist, sofern dieser als derjenige heifse Wind betrachtet werden kann, welcher von der grofsen africanischen Wüste nach allen Seiten hin weht, je nach der Richtung, in welcher die kalte Luft der Umgebung in die warme

über der Wüste eindringt und diese vor sich her treibt. Als Sirocco soll er auch im südlichen Spanien und Frankreich bekannt seyn, hauptsächlich aber herrscht er in Sicilien und Italien. Hiernach kommt derselbe als südliche Luftströmung von der Sahara und geht über das Atlasgebirge und das mittelländische Meer, wo er seine aufserordentliche Trockenheit verliert, seine Hitze und erschlaffende Eigenschaft aber beibehält. Hierdurch zeichnet er sich vorzugsweise in Sicilien und Italien aus, wie dieses vorzüglich durch Brydone[1] beschrieben worden ist, ohne dafs die Bewohner jener Länder anderweitig Aufhebens davon machen, ihn besonders beachten und seine Eigenthümlichkeiten genauer und specieller angeben, indem sie blofs beiläufig über seine Hitze klagen. Nach Brydone aber macht er das Klima von Italien vorzugsweise unangenehm, weil er so ermattend auf Körper und Geist wirkt, dafs beide in ihren gewöhnlichen Functionen ausnehmend gestört werden. Die Eingebornen sollen hiernach nicht weniger als die Fremden durch ihn leiden, alle geistige Arbeiten sehr durch ihn erschwert werden und dieses Veranlassung geben, dafs man von etwas sehr abgeschmacktem zu sagen pflegt: *era scritto in tempo del Sirocco.* Auf das Barometer hat er keinen Einflufs, was jedoch mit dem Zusatze nicht wohl übereinstimmt, dafs es beim Anfange desselben um 1,5 Lin. fiel und sich dann während seiner Dauer auf diesem Stande erhielt; das Thermometer dagegen, welches vor seinem Anfange auf 6°,11 C. stand[2], stieg unmittelbar danach auf 18°,33 und später auf 22° C.; doch ist es nicht sowohl die grofse Wärme, als vielmehr seine sonstige Eigenthümlichkeit, welche ihn so unangenehm macht. Vorzugsweise sucht man durch Baden in der See seine Wirkungen unschädlich zu machen.

Es darf wohl kaum bemerkt werden, dafs diese Darstellung mehr das Gepräge einer oberflächlichen brieflichen Mittheilung, als die einer schulgerechten physikalischen Beschreibung trägt. Inzwischen wird dieser Wind, der *Auster*, schon von Aristoteles[3] und den Schriftstellern nach ihm nicht

---

1 Reise nach Neapel und Sicilien. Br. 1.

2 Dieser Stand mufs als ungewöhnlich niedrig auffallen, um so mehr, als Brydone's Beschreibung sich auf die Monate April und Mai zu beziehn scheint.

3 Problem. N. 17 u. 42. Vergl. Isidorus Origg. Lib. XIII. c. 11.

blofs als unangenehm, sondern auch als der Gesundheit nachtheilig angegeben.

32) Man nimmt an, dafs der über die Alpen herkommende und in einige Schweizerthäler sich herabstürzende sogenannte *Föhn* eine Fortsetzung des Sirocco sey, wozu auf jeden Fall die gleiche Richtung beider, auch sonst einander ähnlicher Luftströmungen berechtigt. Auch von diesem Winde wird oft berichtet, dafs er sich in gröfserer oder geringerer Stärke gezeigt habe, inzwischen kenne ich nur eine einzige, aber vollständige Beschreibung aller derjenigen Wirkungen, die er meistens einzeln, zuweilen aber auch sämmtlich zu zeigen vermag, sofern sie mit einander vereinbar sind. Sie ist auf Veranlassung einer von der Schweizergesellschaft für Naturwissenschaft aufgestellten Frage von Dr. Lusser[1] in Altorf verfafst und bezieht sich zwar zunächst nur auf die an diesem Orte im Canton Uri gemachten Beobachtungen, kann aber immerhin als allgemein passend gelten. Die Sache scheint mir an sich von genügendem Interesse für eine ausführliche Mittheilung der Thatsachen, deren Kenntnifs und gehörige Würdigung auch über die anderen heifsen Winde einiges Licht zu verbreiten geeignet ist.

Der *Föhn* ist ein Südwind, welcher an Stärke alle anderen in jener Gegend übertrifft. Vor dem Eintritt desselben wird die Sonne bleich, der Mond erhält einen meistens farbigen Hof, die Sterne funkeln wie im Winde flatternde Lichter, ferne Gegenstände sind wie in Flor gehüllt, und es bildet sich über der Erde ein Nebel, welcher mit der Annäherung an den Boden dichter wird. An einzelnen Stellen, insbesondere an der Nordseite der Gebirge, entstehn gröfsere und kleinere Nebel, die sich heftig bewegen und bald verschwinden, bald wieder zum Vorschein kommen, bis der Föhn mit voller Kraft einbricht. Zugleich sind die Temperaturen und Bewegungen der Luftschichten in stetem starken Wechsel, so dafs man auf einer freien Ebene bald von einem kalten, bald von einem heifsen Winde angehaucht wird; auch sieht man häufig die Blätter des einen Baumes stark bewegt, während die eines andern völlig ruhn, die Wärme der Luftschichten wechselt zu-

1 Allgemeiner Schweizer Naturw. Anz. 1820. Apr. G. LXVI. 117. Vergl. Scheuchzer Naturgeschichte d. Schweizerlandes. 2te Aufl. Th. III. S. 3.

gleich so sehr, dafs man das Gefühl hat, als käme man aus einer kalten Vorhalle in ein geheiztes Zimmer und umgekehrt; im Ganzen aber steigt die Temperatur, während das Barometer sinkt; die Wärme erhält sich Tag und Nacht ziemlich gleichförmig, und es fällt kein Thau. Kurz vor dem völligen Eintritt des Föhns kommt gewöhnlich Nordwird, *Föhnen-Bise* genannt, wo nicht in den tieferen, doch jederzeit in den höheren Regionen. Man gewahrt deutlich das schrittweise Zurückweichen des Nordwindes vor dem Föhn an den Nebeln, die zugleich mit zurückgetrieben werden und sich an der Grenze beider Winde hoch aufthürmen.

Wenn der Föhn sich nahet, werden die Pflanzen welk, die Thiere unruhig und die Menschen fühlen Erschlaffung, mit Kopfweh, Müdigkeit neben Schlaflosigkeit und dem Schmerzen der Wunden und alten Narben vereint. Während der Dauer desselben bleiben Barometer und Thermometer unverändert; im Frühlinge befördert er die Vegetation sehr auffallend und schmelzt den Schnee ungewöhnlich schnell, ohne wegen der starken Verdunstung vieles Wasser zu geben. Auf dem Vierwaldstätter See wirkt er heftiger, als irgend ein anderer Wind, zerreifst die in grofser Tiefe liegenden Netze und entwurzelt tiefwachsende Wasserpflanzen. Seine Stärke ist zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten sehr ungleich, was als Folge der Einwirkung hoher Gebirgsmassen nicht wohl anders seyn kann. Nicht selten ist an einem Orte Windstille, während wenige hundert Schritte davon Bäume entwurzelt und Dächer fortgerissen werden; mitunter rauscht er stark in den hohen Wipfeln der Bäume, während man an deren Fufse kaum ein leises Wehen verspürt, auch folgt auf einen heftigen Sturm gewöhnlich eine kurze Windstille. Seine Dauer beträgt zuweilen nur wenige Stunden, zu anderen Zeiten acht und mehr Tage; am häufigsten weht er im Frühjahr und Herbst, selten im Winter und noch seltener im Sommer.

Auch beim Aufhören des Föhns zeigen sich verschiedene Erscheinungen. Zuweilen hört er plötzlich auf, es erfolgt Windstille bei reinem Himmel, aber die beim Anfange desselben bemerkten Vorzeichen nehmen wieder zu; das Wetter bleibt klar, das Thermometer sinkt, das Barometer steigt etwas, es erhebt sich ein angenehmer Nordostwind, hält aber nicht lange an, und bald kehrt der Föhn zurück, weswegen die Landleute

nichts auf diesen sogenannten *Föhn-Schon* halten. Zu andern Zeiten bilden sich während der Dauer des Föhns in den obern Regionen Gewitterwolken, die sich öfters in warme starke Regen, sehr selten Gewitter, auflösen. Oft geschieht dieses schon, ehe der Föhn bis zur Erde kommt, und wenn er dann mit warmem Regen eintritt, so nennt man ihn *Demmer-Föhn*. Noch zu andern Zeiten sammeln sich bei heftigem Föhn und heiterm Himmel am nordwestlichen Horizonte starke Wolken, die der Nordwestwind schneller oder langsamer gegen Süden treibt. Die Grenze beider Winde ist sehr kenntlich, und man sieht häufig, daſs der Nordwind in höheren Gegenden schon sehr weit vorgedrungen ist, während in tieferen der Föhn noch mit Uebermacht widersteht; es folgt gewöhnlich Regen oder Schnee, die Luft wird kühler, das Barometer steigt und es folgt dauerhaft schönes Wetter, *Schon* genannt.

Merkwürdig und für die Theorie der Winde von groſser Wichtigkeit ist der Umstand, daſs der Föhn, so viel mir bekannt, sich nicht allezeit als Sirocco in Italien zu zeigen pflegt, wenn er in der Schweiz und überhaupt auf der Nordseite der Alpen zum Vorschein kommt, obgleich beide einander so ähnlich sind, daſs man sie hiernach und in Gemäſsheit ihrer gleichen Richtung wohl nothwendig für identisch halten muſs. Zwar ist der Sirocco minder heftig und nicht mit Gewittern verbunden, wie der Föhn, allein dieses wird leicht erklärlich, wenn man berücksichtigt, daſs bei letzterem die hoch aufgestiegenen und in groſse Entfernung nach Norden strömenden heiſsen Luftmassen eine bedeutend starke Bewegung haben müssen, um die in groſser Höhe und unter höheren Breiten befindlichen, also kälteren und schwereren Luftmassen zurückzudrängen, die dann, in sie eindringend und mit ihnen gemischt, nothwendig Niederschläge durch Abkühlung und wegen der Schnelligkeit, womit dieses geschieht, Gewitter erzeugen müssen. Wenn also, der Regel gemäſs, die kälteren Luftmassen in die wärmeren einzudringen und diese zurückzudrängen pflegen, so haben wir hier ein Beispiel gerade entgegengesetzter Erscheinungen. Auf eine sehr ausgezeichnete Weise zeigte sich der Föhn mit seinen hervorstechenden Eigenschaften am 18. Juli 1841, als er seine Wirkungen nicht bloſs über die Schweiz, sondern zugleich über einen groſsen Theil des nördlich der Alpen liegenden Deutschlands verbreitete. Nach

Wartmann's Beobachtungen[1] war der Wind auf den Alpen so heiſs, daſs er eine groſse Menge Schnee und Eis schmolz, wodurch die Bäche stark anschwollen, und wo derselbe Bäume und Gesträuch traf, zeigten sich die Blätter wie durch glühenden Dampf versengt. An einigen Orten in Baiern und im Oesterreichischen, namentlich zu Ischl, trat plötzlich eine so exorbitante Hitze ein, daſs manche Personen, die sich im Freien befanden, sich der Kühlung wegen in die Häuser zurückzogen und Mühe hatten, dieselben zu erreichen, selbst in Wien aber beobachtete v. Littrow[2] 38°,5 C. In der Gegend des Schwarzwaldes, bis über den Odenwald hinaus und in der Rheingegend herrschte ein heftiger Sturm mit ungewöhnlich hoher Temperatur bei bedecktem Himmel und Regen, worauf in den nächsten Tagen bedeutende Verminderung der Wärme folgte; in Genf tobte der Sturm gleichfalls und hatte nach Wartmann's Angabe eine rotatorische Bewegung. An diesem Tage herrschte übrigens, wenn gleich kein Sturm, dennoch eine ungewöhnliche Hitze in Italien, denn zu Pesaro zeigte das Thermometer 40° C und Pilla[3] beobachtete zu Neapel sogar 45° C.

Nach Heineken[4] weht der *Sirocco* auch auf Madeira als OSO.-Wind, wohin er 300 engl. Meilen weit über das Meer kommt. Dennoch ist er ausnehmend trocken, von ganz wolkenlosem Himmel begleitet, dauert in der Regel drei Tage anhaltend, und erzeugt die Empfindung eines aus einem heiſsen Ofen ausflieſsenden Luftstromes. Augen und Lippen werden durch ihn, wie durch die scharfen Ostwinde des Nordens, afficirt, die Thiere werden träge und abgespannt, Meubles schwinden, und Bücher sperren die Decken auf, wie durch groſse Hitze; doch bemerkt man keinen eigentlichen Nachtheil desselben auf die Gesundheit.

γ) Chamsin.

33) Dieser Wind, der *Chamsin-Jaum* der Kopten (franz.

---

1 Aus dem Berichte der schweizer Versammlung in der allgem. Zeitung 1841. Nr. 248.

2 L'Institut. 9me Ann. Nr. 406.

3 L'Institut. 1841. 9me Ann. Nr. 400.

4 Philos. Magaz. and Ann. of Phil. T. II. p. 363.

Khamsin, engl. *Khamseen*), weht in Aegypten innerhalb der 50 Tage, die auf die Nachtgleichen folgen, woher sein Name kommt, welcher in der koptischen Sprache *Chamsyn* oder *Chamsein*, funfzig, heifst. Oft wird erwähnt, dafs diese 50 Tage zur Hälfte vor, zur Hälfte nach den Nachtgleichen fallen, allein die Zeit wird nicht stets genau angegeben. Er hält zwei bis drei Tage an, kommt aus SW., ist brennend heifs und trocken und führt einen sehr feinen Staub mit sich, welcher zuweilen die Luft verdunkelt und erstickend auf die Respirationswerkzeuge wirkt. Niebuhr[1] führt von diesem Staube die unglaubliche Thatsache an, dafs er nicht nur häufig durch die wohlverkitteten Fenster der Europäer, sondern auch in zugebundene Blasen und verkorkte Bouteillen dringe. Zählen wir auch dieses zu den so häufig bei dem genannten Reisenden sich findenden Uebertreibungen, so ist wohl ohne Zweifel dieser feine Staub die Ursache der in Aegypten so häufigen Augenentzündungen. Die Hitze ist dabei so stark, dafs sie nicht selten bis 47°,5 C. steigt. Ueber ihn haben sich aufser Niebuhr noch verschiedene andere Reisende, als Burckhardt[2], Belzoni[3], Denon[4] u. s. w. geäufsert, und der Letztere erzählt unter andern, dafs er einst bei Annäherung desselben, als schon der Himmel trübe und die Sonne verdunkelt wurde, seinen Wirkungen durch Baden entgehn wollte. Allein kaum war er in den Nil gestiegen, als dieser tobend aus seinen Ufern zu treten drohte und der Boden eine zitternde Bewegung erhalten zu haben schien. Als er den Flufs verlassen hatte, konnte er in dem starken Staube nur mit Mühe seine Wohnung erreichen. Kämtz[5] leitet dieses von dem Wellenschlage ab, welcher allezeit bewirken soll, dafs der Boden zu beben scheint, wenn man dabei badet; allein wenn auch dieses Beben des Bodens hierdurch genügend erklärt ist, so deutet doch das Austreten des Stromes, vorausgesetzt, dafs keine Uebertreibung statt findet, mehr auf eine trombenartige Wirkung des Windes, die auch bei den heifsen Winden gleichzeitig wohl zum Vorschein kommen kann, da die Tromben mit den Sandstürmen (§. 37)

1 Reisen. Th. I. S. 499.
2 Nubia. p. 362.
3 Narrative. p. 195.
4 Voyage. p. 179.
5 Meteorologie. Th. I. S. 265.

in sehr naher Verbindung stehn. Burkhardt[1] fand denselben zu Esne, welches etwas höher liegt, weit weniger drückend, als in Oberägypten, doch war er, besonders anfangs, sehr heifs.

δ) Samum.

34) Dieser dem westlichen asiatischen Continente, hauptsächlich dem steinigen Arabien, zugehörige Wind soll seinen Namen vom Zeitworte *Samma* erhalten haben, welches nach Langlès[2] *vergiften* heifst, nach Schott aber, wie Kämtz[3] angiebt, auch *heifs seyn*. Vermöge der verschiedenen Aussprache nennt man diesen Wind auch *Simum*, *Semum*, *Smum*, genauer *Bkad-Samum*, giftigen Wind; bei den Türken heifst er *Samiel*, oder nach der französischen Aussprache *Chamyelé*, was nach Volney[4] von *Cham*, Syrien und *Yel*, Wind, abzuleiten ist, weil der Wind den Türken aus Syrien kommt, nach Chardin und Langlès aber richtiger von *Sam*, Gift und *Yel*, Wind hergeleitet wird. Aufser einigen Angaben der Alten, wonach so viele Menschen durch die heifsen Winde umgekommen seyn sollen, kennen wir diesen Wind hauptsächlich aus den Berichten von Beauchamp[5], Volney[6], Niebuhr[7] und einigen Andern, aus denen folgende Beschreibung zusammengestellt worden ist[8].

Der Wind erstreckt seine Verwüstungen über eine grofse Länderstrecke, namentlich über die Wüsten zwischen Basra, Bagdad, Haleb und Mecca, das steinige Arabien längs der Küste des persischen Meerbusens, die Gegenden des Tigris, ja er dringt selbst bis nach Surate vor. Selten zeigt er sich im glücklichen Arabien, und Palästina ist durch seine Seewinde gegen ihn geschützt, doch sollen sich einst 30000 Einwohner

---

1 Reisen in Nubien. Weim. 1820. S. 484.

2 Chardin Voyages T. III. p. 286.

3 Meteorologie. Th. I. S. 259.

4 Voyage. T. I. p. 55.

5 S. Cotte Mémoires sur la Météorologie cet. Par. 1789. T. II. p. 213.

6 Voyages. T. I. p. 57.

7 Arabien. S. 8. Auch Ker Porter in Travels T. II. p. 230 stimmt nach Kämtz Meteorol. Th. I. S. 271 hiermit überein.

8 Gotha'sches Magaz. Th. IV. St. 3. S. 38.

jener Gegenden vor ihm in die Höhle Adullam bei Thekon geflüchtet haben. Er weht nur in den Monaten Juni, Juli und August, ist im Juli am furchtbarsten, zeigt sich bloſs am Tage, mit sehr seltenen Ausnahmen bei Nacht, und ebenso ausschlieſslich auf dem Lande, indem er auf den Flüssen und auf der See augenblicklich seine nachtheiligen Wirkungen verliert. Zum Glück für die Reisenden kündigt er sich stets vorher an, der Himmel röthet sich in der Gegend, woher er weht, man bemerkt eine eigenthümliche Bewegung in der Luft und hört ein heftiges Brausen in der Ferne. Nach einigen Aussagen soll man Feuerstrahlen, wie Haarbüschel, wahrnehmen, und derjenige allezeit verloren seyn, welcher diese einathmet. Seine Bewegung ist wirbelartig, dauert nie über 15 Minuten und gestattet hierdurch, seinen schädlichen Wirkungen zu begegnen. Zu diesem Ende hüllt man den Kopf in ein leinenes Tuch, legt sich auf die Erde nieder und drückt das Gesicht in den Sand, wobei bloſs die gehemmte Respiration beschwerlich wird. Bei einem sehr heftigen und anhaltenden Samum genügen indeſs diese Hülfsmittel nicht, die ihn sonst unschädlich machen würden. Yve[1], welcher von Ostindien zu Lande nach Europa reiste, nennt die Samiels Wirbelwinde, die unverzüglich jeden Menschen und jedes Thier tödten, das ihnen in den Weg kommt. Um diesem zu entgehn, werfen sich Menschen und Thiere sofort nach Wahrnehmung der Zeichen, die ihn ankündigen, auf die Erde, die Füſse gegen den Wind gekehrt. Der pestilentiale Dunst streicht schnell vorüber und bildet nur einen schmalen Strom, so daſs mehrere nicht weit von einander entfernte Reisende von verschiedenen Samielen geplagt werden. Am besten ist zugleich, bei Nacht zu reisen, auch werden seine Wirkungen sehr geschwächt, wenn er über bepflanzte Gegenden weht. Die Zufälle, welche er herbeiführt, sind schrecklich; er tödtet so schnell, daſs seine Schlachtopfer kaum Zeit haben zu sagen, daſs ein Feuer in ihrem Innern wüthet. Alle innere Theile, insbesondere bei sehr ermüdeten Personen, sind fast im Augenblick zerlegt oder aufgelöst, die von ihm ergriffenen Menschen sperren vor Schmerz den Mund auf und sterben im Delirium, worauf ihnen bisweilen das Blut aus Nase

1 Nach Lind's Versuch über die Krankheiten der Europäer in d. heiſsen Ländern. A. d. Engl. Leipz. 1773.

nnd Ohren fliefst, die Leichen aber blau werden. Auf behaarte Thiere soll seine Wirkung geringer seyn, zum Theil deswegen, weil sie ihn früher wittern, dann den Kopf zur Erde halten und in ein starkes Zittern mit bedeutendem Schweifse gebracht werden.

Diese schrecklichen Wirkungen zu erklären hat man seine Zuflucht zu den Ausdünstungen der Lorbeerrose (*Rhododendron nerium*) genommen, die dort häufig wachsen soll, die Flammen leitet man von schwefligen Dünsten ab, da der Schwefel in den Gegenden, woher dieser Wind kommt, in Menge vorhanden sey, zugleich aber von der Elektricität, deren Entstehn durch die fortgeführten Schwefeltheile erleichtert werde, wobei jedoch die Schwierigkeit entgegensteht, dafs diese Eigenschaften nicht wohl durch das Hinüberstreichen über einen Flufs aufgehoben werden, noch weniger aber hinter demselben wieder eintreten könnten. Werner[1] glaubt die Ursache darin zu finden, dafs die Luft durch den trocknen Boden aller Feuchtigkeit beraubt und dadurch gezwungen werde, andere Stoffe, namentlich das Phlogiston, aufzunehmen, wonach dann die schädliche Wirkung durch Aufnahme von Wasserdampf aufhöre. Olivier meint, die schädlichen Wirkungen des Samiels rührten vom gypshaltigen und bituminösen Boden Mesopotamiens her, aus welchem durch anhaltende Dürre die schädlichen Ausdünstungen gelockt würden, die an das Wasser übergingen, wenn der Wind über einen Flufs gehe, und Erman[2] ist geneigt, dem absolut trocknen Sauerstoffgas die tödtliche Wirkung der heifsen Winde beizumessen. Endlich fanden Viele die Ursache der schädlichen Wirkungen dieses Windes in der Elektricität, worin auch Rüppell[3] die des Harmattan sucht, ohne die eigenthümliche Art dieser Wirksamkeit näher zu bezeichnen; man weifs aber, dafs schon Lichtenberg die Bemerkung machte, dafs dieses wichtige Agens alles erklären solle, wozu man keinen andern Grund finden könne.

35) In dem Vorhergehenden sind die heifsen Winde so

---

1 Lichtenberg's Magazin. Th. IV. St. 2. S. 108.

2 G. XXX. 115. Von Lindenau in monatl. Corr. Th. XIII. S. 44 hält sich vorzüglich an Olivier, nnd leitet demnach die schädlichen Wirkungen des Samiel von schwefligen Dünsten, die des Chamsin von zu viel Stickgas ab. Nach v. Zach in Corr. Astr. Nr. 6. p. 540 soll der Samum zu viel Salpetergas, der Harmattan zu viel Sauerstoff enthalten.

3 Schweigger's Journ. XXXVIII. 186.

beschrieben, wie man dieses nach den Berichten früherer Reisenden allgemein angegeben findet. Schon eine oberflächliche Betrachtung der erwähnten Thatsachen mufste einige Zweifel gegen die absolute Genauigkeit derselben hervorrufen, sofern einerseits die Ursache so furchtbarer Wirkungen nirgends zu finden war, andererseits aber, ihre Richtigkeit vorausgesetzt, unbegreiflich blieb, wie die Caravanen so oft ohne bedeutende Unglücksfälle jene Gegenden durchstreifen konnten. Inzwischen haben neuerdings Ritter[1] in Folge des kritischen Studiums der zahlreichen vorhandenen Quellen und Kämtz[2] vermöge seiner grofsen Belesenheit in neueren Reisebeschreibungen nicht blofs die Uebertreibungen in den Erzählungen älterer Reisenden nachgewiesen, sondern auch den Grund zu diesen scharfsinnig aufgefunden. Zuvörderst hält Kämtz alle vier genannte Winde für identisch, so dafs man sie alle mit dem nämlichen Namen Samum belegen könne. Hierbei beruft er sich auf das Zeugnifs Golberry's[3], welcher beide für identisch erklärt, und auf Mungo Park[4], welcher die zu Sibidulu auf der Mandingo-Terrasse beobachteten Samums geradezu in der Negersprache Harmattans nennt. Dieses mufs man insofern für richtig anerkennen, als alle die verschiedenen Namen den aus den Sandwüsten herkommenden heifsen Winden beigelegt werden; ein Unterschied derselben beruht daher blofs auf ihren ungleichen unangenehmen Wirkungen, die sich jedoch nicht auf eine solche Weise unterscheiden, als man namentlich in Beziehung auf den Samum bisher angenommen hat. Man kann daher immerhin den Ausdruck Samum als allgemeine Bezeichnung der giftigen oder heifsen Winde beibehalten, speciell genommen bezeichnet dieser aber den in Asien, namentlich in Arabien, wehenden Wind, derjenige dagegen, welcher von der Sahara ausgehend Aegypten belästigt, heifst Chamsin, und wenn er, von dieser nämlichen Wüste ausgehend, eine Richtung nach Süden, nach Westen und nach Norden annimmt, so heifst er in der Negersprache Harmattan. Darf dann vorausgesetzt werden, dafs dieser in der

1 Dessen Erdkunde. Th. I. a. v. O.

2 Meteorologie. Th. I. S. 261 ff.

3 Fragmens d'un Voyage en Afrique. T. I. p. 228.

4 Travels. p. 258. Gehler a. A. Th. V. S. 1019 tadelt Volney (Voyages T. I. p. 56) deswegen, weil er den Samum und den Chamsin für identisch hält, da Niebuhr beide unterscheidet.

Richtung nach Norden über das mittelländische Meer nach Europa gelangt, so ist der Sirocco nichts weiter als eine Fortsetzung desselben, worüber unten (§. 37) noch weiter die Rede seyn wird.

36) In Beziehung auf die verheerenden Wirkungen der heifsen Winde, wie sie vorzüglich dem Samum beigelegt werden, ist nicht ohne Bedeutung, dafs gerade dieser den Namen *Gift* trägt, womit man schon an sich die Vorstellung der Schädlichkeit verbindet. Kämtz weist aber nach, dafs nach den Angaben von Schott in den semitischen Dialecten verschiedene Worte zugleich *giftig* und *heifs* bezeichnen und der Ausdruck *Gift* bei den Orientalen oft nichts weiter als dasjenige bezeichnet, was unangenehm ist. Die genauesten und sichersten Nachrichten über die heifsen Winde, namentlich den Samum, hat Burckhardt[1] mitgetheilt. Hiernach ist derselbe nichts weiter als ein sehr heifser, trockener und namentlich wegen des mitgeführten feinen Sandes in der Wüste höchst unangenehmer Wind. Dafs er tödtlich seyn und ganze Caravanen vernichtet haben solle, sind übertriebene Erzählungen der Beduinen, die hierdurch, wie durch andere abenteuerliche Angaben von den Schrecknissen der Wüste, die Bewohner der Städte in Erstaunen setzen und vom Reisen zurückhalten oder sich höheren Lohn für ihre Führungen verschaffen wollen, wie dieses Kämtz durch unwiderlegliche Zeugnisse dargethan hat. Hieraus dürfte auch die Angabe erklärlich seyn, dafs der Wind auf den Flüssen und überhaupt durch Berührung des Wassers oder der mit Vegetation bedeckten Strecken seine tödtliche Eigenschaft verliere, denn sonst hätte sich die Uebertreibung durch die Erfahrungen derer, die in gröfserer Zahl die Flüsse befahren oder ihnen nahe wohnen, ja selbst der Bewohner der Oasen sehr bald herausgestellt. Burckhardt[2], von dem sie wufsten, dafs er gehörig unterrichtet sey, erfuhr von ihnen die Wahrheit, die er dann auch durch eigene Erfahrung bestätigt fand. Der Wind weht nie dicht am Boden, weswegen das Niederwerfen dagegen schützt, aber Staub und Sand werden hoch in die Luft geführt, die dadurch ein röthliches, bläuliches oder gelbliches Ansehn erhält, je nach der Beschaffenheit des Bodens,

---

1 Dessen Reisen in Nubien. Weimar 1820 a. v. O.
2 Travels in Nubia. p. 204.

der den Staub hergiebt. Der Samum weht wohl einige Stunden anhaltend, aber die eigentlichen Wirbel dauern nur etliche Minuten, dann steigt die Hitze bedeutend, und sie betrug bei dem zu Esne von ihm erlebten 49°,5 C. Das Unangenehmste ist, dafs er die Ausdünstung hemmt, wie BURCKHARDT sich ausdrückt, das heifst, dafs zwar die enorme Hitze den Schweifs auspreſst, die grofse Trockenheit aber diesen sofort wieder wegnimmt und das Gefühl der mangelnden Ausdünstung erregt. Auf gleiche Weise trocknet er den Gaumen aus, erregt unausstehlichen Durst und dadurch Uebelkeit. KÄMTZ bemerkt daher mit Recht, dafs die Caravanen, wenn dieses Schicksal sie trifft, nicht durch den Sand verschüttet werden, wie man dieses von denen annimmt, die seit den Zeiten des CAMBYSES öfter in den Wüsten ihren Untergang fanden, sondern vor Durst umkommen. Dieses ist um so leichter möglich, da die Ursachen des brennenden Durstes zugleich Wassermangel herbeiführen, sofern dieses auch aus den Schläuchen verdunstet, denn BURCKHARDT[1] verlor im Juni 1815 zwischen Tor und Suez an einem Vormittage durch den Chamsin den dritten Theil vom Inhalte seines Schlauches, und im Mai waren auf dem Wege von Schendy nach Suakim durch den Samum schon um Mittag fast alle Schläuche leer. Um die Wirkung dieser übermäfsigen Ausdünstung zu mildern, beschmieren die Hirten ihre Leiber dick mit Schlamm[2], eine auch in Persien herrschende Sitte[3]. Die Araber bedecken ihr Gesicht mit ihren Mänteln oder mit einem Tuche, und knieen neben den Kameelen nieder, um den Staub zu vermeiden; die Kameele leiden am meisten durch diesen, der ihnen in die grofsen hervorstehenden Augen getrieben wird, weswegen sie bei den Wirbeln den Kopf herabsenken. BURCKHARDT sah aufserdem die vom Winde emporgehobenen Sandsäulen, zweifelt aber, dafs sie das Leben der Reisenden gefährden.

37) Die Erfüllung der Luft mit Sand bei den heifsen Winden und die hierauf gröfstentheils beruhenden nachtheiligen Wirkungen derselben hat KÄMTZ sehr überzeugend nach-

---

1 Nubia. p. 366.

2 KER PORTER Travels. T. II. p. 229.

3 W. OUSELEY Travels. T. I. p. 203.

gewiesen. Ihn bemerkten nicht blofs BRUCE[1] in Abyssinien, sondern auch BELZONI[2] und DENON in Aegypten, RÜPPELL[3] zu Tor am rothen Meere, DOBSON[4] an den Küsten von Guinea und Andere in den Sandwüsten Asiens, Africa's und America's. DENHAM[5] erzählt darüber: der Wind erhob den feinen Sand, der den Boden bedeckt, so dafs die ganze Atmosphäre damit erfüllt war, und in dem grofsen unermefslichen Raume vor uns konnten wir kaum einige Ellen übersehn. Die Sonne war ganz verfinstert, und ein erstickendes, betäubendes Gefühl bemächtigte sich unser, so wie wir die Sandmassen durchschritten; bisweilen verloren wir die Kameele ganz aus dem Gesichte, obgleich sie nur wenige Fufs von uns entfernt waren, den Pferden hing die Zunge aus dem Maule, und sie wollten nicht gegen den fliegenden Sand gehn.

Wegen dieses vielen mitgeführten Sandes hat man verschiedenen Winden den Namen *Sandstürme* beigelegt, und Viele hegen die Meinung, dafs ganze Caravanen, wie auch das Heer des CAMBYSES durch die Masse des Sandes überschüttet und auf diese Weise vernichtet wurden, wogegen aber KÄMTZ mit Recht bemerkt, dafs sie ohne Zweifel durch die unglaubliche Hitze und den quälenden Durst bei gänzlich fehlendem Wasser ihren Untergang fanden. Allerdings richtet der in grofser Menge durch die Winde fortgeführte Sand unglaubliche Verheerungen an, wovon bereits früher[6] Beispiele angeführt worden sind, allein diese werden nur durch die Länge der Zeit und die hiernach allmälig wachsende Masse erzeugt, inzwischen sind zugleich die Sandstürme oder Sandwirbel[7] mitunter sehr grofsartig und den Reisenden höchst unangenehm. Sie herrschen vorzüglich in der libyschen Wüste, in Arabien, Mesopotamien, in der Wüste Sind, in Beludchistan u. s. w., wo starke und zuweilen heifse Wirbelwinde den Sand in die Höhe heben, beträchtlich weit fortführen und dann wieder

---

1 Reisen. Th. IV. S. 558.

2 Narrative. p. 195.

3 Reisen. S. 185.

4 Philos. Trans. 1781. p. 48.

5 Beschreibung der Reisen und Entdeckungen im nördlichen und mittleren Africa. Weimar 1827. Th. I. S. 9.

6 S. Art. *Geologie*. Bd. IV. S. 1305.

7 Vergl. Art. *Wettersäule*.

fallen lassen. Die Oberfläche der Ebenen nimmt hierdurch die Gestalt des mit Wellen bedeckten Meeres an, indem sie bis zu unabsehbarer Ferne mit Sandhügeln bedeckt ist, welche an der dem herrschenden Winde entgegenstehenden Seite steiler, an der entgegengesetzten flacher sind und mit dem Wechsel der sie erzeugenden Windrichtungen Ort und Gestalt verändern. Reisende in jenen Gegenden, namentlich ELPHINSTONE[1], POTTINGER[2] und Andere erzählen, dafs die Kameele über diese nicht weggehn können, sondern sich, nachdem sie auf dem Kamme der Hügel angelangt sind, auf die Kniee werfen und mit dem Sande herabgleiten.

Die diese Sandhügel erzeugenden und abwechselnd nach verschiedenen Orten hin führenden Sandstürme sind übrigens nicht nothwendig oder allerzeit heifs, vielmehr nicht selten gemäfsigt und zuweilen sogar kalt, je nach der Gegend, woher sie wehn, und sie unterscheiden sich daher wesentlich von den Samums, welche den sehr feinen Sand und Staub, einer Wolke oder Rauchmasse ähnlich, mit sich führen, denn bei diesen übersteigt die Hitze der bewegten Luft alle Vorstellung, wie schon von selbst gefolgert werden mufs, wenn man die oben angegebene Temperatur des Sandes berücksichtigt, welcher im Zustande höchster Trockenheit unablässig den Sonnenstrahlen ausgesetzt ist und dessen feinere Theile dann mechanisch in die Höhe geführt werden. Speciell erzählt aber auch MUNGO PARK[3], dafs er während seiner Gefangenschaft am Südrande der Sahara zu Benown seine Hand nicht an die Risse der Hütte zu legen vermochte, durch welche der Wind blies. Eine anschauliche Vorstellung des Verhaltens giebt eine Erzählung BURCKHARDT's[4], welcher berichtet: „Als ich im Juni 1813 „ganz allein und auf einem schnell laufenden Dromedare von „Esne nach Siout reiste, überfiel mich zwischen Farschiout und „Berdys ein heftiger Samum. Sobald er sich erhoben hatte, „konnte ich weder Bäume noch Häuser sehn, und während ich „beschäftigt war, mir mein Gesicht mit einem Tuche zu be- „decken, wurde das Dromedar unruhig, weil ihm so viel Sand

1 Cabul. p. 492.

2 Reisen durch Beloochistan und Sind. Weimar 1817. S. 196.

3 Travels. p. 135.

4 Nubia. p. 206.

„in die Augen getrieben wurde. Beim Brausen des Windes „fing es an zu gallopiren, ich verlor die Zügel, fiel auf die „Erde, und weil ich keine zehn Ellen weit sehn konnte, so „blieb ich liegen und wickelte mich in meine Kleider, bis der „Wind vorüber war, dann verfolgte ich mein Dromedar und „fand es in bedeutender Entfernung hinter einem Busche stehn, „welcher seine Augen gegen den Sand schützte.“

38) Wie bereits oben (§. 35) bemerkt wurde, müssen die heifsen Winde stets von den wasser- und baumleeren Wüsten herkommen, genauer aber giebt Kämtz ihre Richtung an. In Unterägypten[1] kommt derselbe aus SSW. und SW., in Tor[2] am Meerbusen von Suez aus dem steinigen Arabien, also aus NO., in Mecca[3] aus der Wüste Redsched, also aus O., in Surate aus N., in Bassora[5] aus NW., in Bagdad aus W. und in Syrien[6] aus SO., stets also aus der grofsen Wüste in Centralasien. Das Nämliche findet sich bei der Sahara in Africa, denn zu Benown[7] kommt er aus NO., ebendaher am Senegal[8], und an den Küsten Guinea's[9] kann man deutlich wahrnehmen, dafs er seinen Ursprung stets in der grofsen Wüste hat. Die Wirkungen auf die animalische und vegetabilische Natur sind bei allen diesen Winden gleich, und wenn sie von einigen Schriftstellern als nachtheilig, von andern als zuträglich angegeben werden, so liegt die Ursache hiervon in Nebenbedingungen. Zählen wir die oben erörterten Angaben über den Samum zu den Uebertreibungen, so haben sie aufser der Unannehmlichkeit der drückenden Hitze und des lästigen Staubes auf die menschliche Gesundheit keinen eigentlich nachtheiligen Einflufs, hindern vielmehr faulige und ansteckende Krankheiten, so wie die sonst so gewöhnlichen Fieber, aufser wenn sie von sumpfigem, mit anhaltend stagnirendem Wasser dauernd

---

1 Volney Voyage. T. I. p. 58. Belzoni Narrative. p. 195. Niebuhr Arabien. S. 8. Dénon Voyage. p. 179.

2 Rüppell Reisen. S. 185.

3 Volney und Niebuhr a. a. O.

4 Ebendaselbst.

5 Beauchamp in Cotte's Mém. T. II. p. 215.

6 Niebuhr u. Volney a. d. a. O.

7 Mungo Park Travels. p. 258.

8 Golberry Fragmens. T. I. p. 228.

9 Dobson in Philos. Trans. 1781. p. 46.

überdeckten Gegenden herkommen. Auf die Pflanzen mufs die Wirkung derselben je nach ihrer Beschaffenheit gleichfalls verschieden seyn, und es darf uns nicht wundern, wenn Reisende oft vom Verdorren und Absterben der Blätter reden, denn den Pflanzen ist feuchte Wärme zur Hervorbringung eines üppigen Wachsthums noch weit zuträglicher, als namentlich den Menschen, denen diese leicht die verderblichen Fieber bringt; starker trockner Hitze erliegen jene aber sehr leicht. Hiernach bedarf es also aller der Hypothesen nicht, die man zur Erklärung der vermeidlichen schädlichen Wirkungen der heifsen Winde aufgestellt hat.

Von der andern Seite läfst sich jedoch nicht verkennen, dafs die in Europa genauer beobachteten heifsen Winde eine eigenthümliche erschlaffende Wirkung auf den menschlichen Körper ausüben, die stärker ist, als dafs man nicht einige Zweifel hegen sollte, sie lediglich als Folge der blofsen höheren Wärme zu betrachten. Zu den heifsen Winden Europa's gehört vorzugsweise der *Sirocco*, von dessen Einflufs auf das Klima Neapels bereits oben (§. 31) die Rede war; noch ungleich stärker sind aber seine Wirkungen zu Palermo, wenn anders Brydone's[1] Angaben volles Vertrauen verdienen. Dieser versichert von Personen, die sich lange in Malta und Spanien aufgehalten hatten, gehört zu haben, dafs die dortige Hitze von der zu Palermo beim Sirocco weit übertroffen werde. Beim Oeffnen des Zimmers glich die eindringende warme Luft der aus einem heifsen Ofen strömenden, eine Erscheinung, die auch in unsern Gegenden wahrgenommen wird, wenn plötzlich warme und feuchte Südwinde eintreffen; näher bezeichnend ist aber die Angabe, dafs das Thermometer in einer Laube, also voraussetzlich im Schatten, bis 44°,5 C. stieg. Hierbei darf jedoch nicht unbemerkt bleiben, dafs das Maximum[2] der Temperatur in Palermo nur zu 38° angegeben wird, was die genannte Bestimmung etwas verdächtig macht. Im südlichen Spanien, in der Mancha und Andalusien, namentlich in Sevilla und Cadix herrscht der *Solano*[3], ein aus

1 Reise durch Sicilien und Malta. Th. II. S. 53 u. 116.

2 S. Art. *Temperatur*. Bd. IX. S. 579.

3 Dillon Reise in Spanien. Th. II. S. 95 u. 148. Townsend Reise durch Spanien, deutsche Ueb. Th. II. S. 133. Nach Kämtz Meteor. Th. I. S. 276.

SO. und S. kommender Wind, welcher sich durch seine Hitze auszeichnet, Schwindel erregt und durch Ueberhitzung des Blutes zu Ausschweifungen aller Art reizt. Auch zu Malta weht im Sommer und Herbst nicht selten ein heifser Wind, welcher im hohen Grade lästig ist und als ein Zweig des Sirocco betrachtet wird.

39) Es wird allgemein angenommen, dafs der Sirocco in Sicilien und Neapel, der Solano in Spanien und der Sirocco auf Malta Fortsetzungen des aus der grofsen africanischen Wüste kommenden Windes seyen, welcher daher in Sicilien und Italien den nämlichen Namen beibehält, den er an der africanischen Küste hat. Hier wehet er, namentlich nach Blasquière[1], meistens im Herbst, dauert selten über drei Tage, ist sehr heifs und bringt vielen Sand aus der Wüste, der den Pflanzen sehr verderblich ist. Auf die Gesundheit der Menschen hat er keinen nachtheiligen Einflufs, indem damals dort seit dreifsig Jahren nie von einer ansteckenden Krankheit die Rede gewesen war, doch schadet der Staub, wie immer, den Augen. Kämtz[2] bezweifelt indefs, dafs namentlich der Sirocco in Palermo und Italien, so wie auch der Solano in Spanien diesen Ursprung habe, letzteren leitet er vielmehr von den trocknen Ebenen Andalusiens ab und der erstere soll seine Hitze durch die trocknen Felsen Siciliens erhalten. Als Argument hierfür soll gelten, dafs er gerade in Palermo weit drückender ist, als an einem sonstigen Orte Siciliens und Italiens, ungeachtet jener Ort an der entgegengesetzten Seite der Insel liegt. Wolle man aber die dortigen heifsen Winde aus Africa ableiten, so sey wenigstens gewifs, dafs dieser Luftstrom, der sich auf dem mittelländischen Meere nothwendig abkühlen müfste, in den trocknen und von der Sonne stark erhitzten Gegenden des südlichen Italiens und Siciliens einen neuen Grad von Hitze erreiche.

Je gröfser die Autorität des Physikers ist, welcher diese Behauptung aufstellt, desto gewichtiger müssen die Argumente seyn, die man ihr entgegenstellt, und solche sind, nach meiner Ansicht, allerdings vorhanden. Zuvörderst ist das Zeugnifs Brydone's über die übermäfsige Hitze in Palermo schon oben wankend gemacht worden, und gesetzt auch, dieser Reisende hätte

1 Briefe aus dem Mittelländ. Meere. Weim. 1821. S. 30.

2 Meteorologie. Th. I. S. 277.

den Sirocco zu Palermo viel heifser gefunden, als zu Neapel, so konnte dieses immerhin zufällig seyn, denn an keinem dieser beiden Orte ist er jederzeit gleich drückend. Die gröfsere Hitze des Sirocco, als die des Solano in Spanien, dürfte wohl theils davon abzuleiten seyn, dafs der Harmattan, um nach Spanien zu gelangen, zuvor über das Atlasgebirge strömen mufs, theils von den kalten Luftmassen, die in Spanien allezeit von den hohen Bergspitzen in die Ebenen herabsinken und die dortige Hitze mildern. Betrachten wir ferner den Sirocco als reinen Südwind, so gelangt derselbe über die Ebene östlich von Tunis gerade zur Westspitze Siciliens, ohne durch den hohen Aetna aufgehalten zu werden, und von hier aus in etwas gegen Osten gehaltener Richtung, die er in Folge der Rotation der Erde annehmen mufs (§. 4 u. a.), nach Neapel. Die nach SO. unterhalb dieser Stadt liegenden Ebenen sind weder grofs genug, noch erlangen sie wegen der Nähe des Meeres eine hinlängliche Hitze, um solche Winde zu erzeugen, als der Sirocco in Neapel ist. Endlich bin ich geneigt zu glauben, dafs die Samums der Wüsten zwar in diesen selbst eine horizontale Richtung haben können, allein mit dieser werden sie nicht bis zu grofsen Entfernungen gelangen; ist letzteres der Fall, so haben sie sich gehoben und sinken dann durch die Gewalt ihrer schnellen Bewegung wieder herab. Hiernach möchte ich also auch die gemeine Annahme, dafs der Sirocco bei seinem Hinstreichen über das mittelländische Meer feucht werde, in Zweifel ziehen, vielmehr scheint er mir, hoch über demselben hinstreichend, seinen Zustand der erschlaffenden Hitze da beizubehalten, wo er niedersinkt. Als sehr beweisend hierfür und überhaupt das ganze Verhalten sehr erläuternd betrachte ich die etwas genauer bekannten Erscheinungen des *Föhns*. Dieser kündigt sich keineswegs als einen feuchten Wind an, wie diejenigen sind, welche dem südlichen und westlichen Europa die bedeutenden Regengüsse vom mittelländischen Meere und von dem atlantischen Ocean zuführen, vielmehr zeigt er sich ganz als einen trocknen Wind, welcher die Kraft der nördlichen Luftströmungen überwältigt und vielleicht mit Unterstützung der von den Bergspitzen ohnehin herabsinkenden kälteren Luftmassen sich in die Alpenthäler stürzt. Diesem gemäfs müfsten wir demnach annehmen, dafs die emporgehobenen Samums der Wüsten hoch über Berge und Meere fortgehend sich an ver-

schiedenen ungleich entfernten Orten niedersenken und die übrigens daselbst unnatürlich heifsen Winde erzeugen.

Hiernach würden wir also im europäischen Sirocco, im Solano, im Föhn und in den unnatürlich heifsen Winden des südlichen Frankreichs, ja selbst des mittleren bis zum nördlichen Deutschland, den eigentlichen Charakter der Samums, wenn auch beträchtlich gemildert, wiederfinden. Dafs derselbe bis zu bedeutend hohen Breiten gelange, scheint mir nicht zweifelhaft. Ich selbst habe an einem heifsen Tage im Jahre 1807 zu Hannover auf einem trocknen sonnigen Boden ein Thermometer an einem Pfahle so aufgehängt, dafs es sich im Schatten des Pfahles befand. Es herrschte Windstille bei drückender Hitze und heiterem Himmel, nur in einzelnen Absätzen wehete in kurzen Intervallen ein Südwind, durch welchen indefs das Thermometer, anstatt zu sinken, allezeit um 1°,5 bis 2° C. stieg, beim Nachlassen desselben aber wieder fiel. Beurtheilen wir demnach den Samum nach dem, wie sich diese genannten Winde zeigen, so ist er nichts weiter als ein sehr heifser und trockner Wind. Allerdings scheint seine, bis zur krankhaften Affection schwächende Eigenschaft stärker, als dafs man sie blofs aus der Hitze abzuleiten geneigt seyn könnte, und wenn man diesen seinen, dem Wohlbefinden nachtheiligen, Einflufs sehr gesteigert denkt, so dürfte man auf schädlichere Wirkungen desselben in den Wüsten selbst schliefsen, als die neueren Reisenden sie angeben; allein es läfst sich von der anderen Seite denken, dafs die Erschlaffung des heifseren Samum bei dem daran gewöhnten Africaner und Asiaten nicht nachtheiliger wirkt, als die des bereits kälteren bei dem gegen die Hitze empfindlichern Europäer.

40) Will man die in Europa wehenden heifsen Winde aus Africa ableiten, so findet es Kämtz[1] unbegreiflich, wie diese bis zum südlichen Rufsland gelangen sollten, wo sich jedoch nach der Angabe von Pallas[2] dieselben allerdings finden. Sie wehen im Juli namentlich bei Zarizim, sind heftig, sehr heifs und heben den Staub hoch in die Höhe, fangen gewöhnlich um zwei Uhr nach Mittag an und dauern nie länger als bis nach Mitternacht. Insbesondere sind sie den Schafen nach-

1 Meteorologie. Th. I. S. 278.
2 Dessen Reise. Th. III. S. 643.

theilig, die in Menge dabei zu Grunde gehen. Die Steppenbrände können sie nicht erzeugen, denn sonst wären sie nicht Vorboten schwerer Gewitter.

Hierüber läfst sich nur wenig sagen, da die Thatsachen keineswegs genügend bekannt sind, mindestens kenne ich darüber nichts weiter, als was hier mitgetheilt worden ist. Kämen diese Winde wirklich aus einem andern Welttheile, so müfsten sie aus Asien und zwar aus Arabien kommen, welches ungefähr in dieser Richtung südlich liegt, und die Unmöglichkeit, dafs von dort die aufsteigenden heifsen Luftmassen sich erst über dem südlichen Rufsland wieder herabsenken, läfst sich nach dem, was wir vom Sirocco wissen, wohl nicht stringent beweisen. Dabei bleibt aber die Zeit, welche sie genau inne halten sollen, immer ein unauflösliches Räthsel. Nehmen wir aber an, dafs auch hierbei, wie sonst so oft, Uebertreibungen mit untergelaufen sind, so dürfte das Phänomen im Ganzen nicht räthselhaft seyn. Südliche Luftströmungen, an sich schon warm, können über den weiten, zuweilen sehr trocknen, Steppen einen ungewöhnlichen Grad der Wärme annehmen und bei anhaltender Dauer den Schafen, wenn ihnen nebenbei frisches Flufswasser mangelt, sehr nachtheilig werden, ohne gerade Samums zu seyn. Aufserdem aber erlangen die Winde in jenen Gegenden, wo keine hohen Berge ihnen Hindernisse entgegenstellen, einen unglaublichen Grad der Heftigkeit, und es können daher die heifsen schon hierdurch allein ebensowohl verderbliche Wirkungen haben, als die kalten (§. 44). Sind sie endlich Vorboten schwerer Gewitter, so dürfen wir auf einen starken Wassergehalt derselben schliefsen, den sie vielleicht über dem schwarzen Meere erhalten haben.

Es scheint mir erforderlich, hier noch eine Bemerkung hinzuzufügen, welche einem gangbaren Irrthume zu begegnen dienen möge. Man findet häufig den *Mistral* im südlichen Frankreich als dem Föhn und dem Solano gleichend, mithin als eine Fortsetzung des Sirocco angegeben; allein nach den genauen Untersuchungen Fournet's[1] kann dieses auf keine Weise der Fall seyn. Der *Mistral*, oder nach den verschiedenen provinziellen Benennungen *Mistraou*, *Magistral*, *Meistre*,

---

1 Recherches sur la distribution des Vents dominants en France. Eine 1841 erschienene Monographie.

Vent de Cers, bei den Römern *Circius*[1] genannt, ist ein im südlichen Frankreich wehender, sehr heftiger NW., zuweilen ganz nach N. übergehender Wind, welcher sich vom Lande über den Meerbusen von Lyon herabstürzt, in seiner Fortsetzung über den Hafen Mahon auf Minorca hinstreicht und als eigentlicher Nordwind bis nach Algier gelangt. Meistens ist er sehr trocken und dadurch erkältend, bei minderer Stärke aber angenehm kühlend, und dauert bei grofser Heftigkeit nur einen oder etliche Tage, bei minderer dagegen zuweilen mehrere Wochen. Zu Toulon und Marseille bringt er heiteres Wetter, nimmt zuweilen blofs die höheren Regionen der Atmosphäre ein, in der Regel aber die unteren, und zieht im letzteren Falle, wenn er länger anhält, die höheren Luftbewegungen in sich hinein. Behält er seine eigentliche nordwestliche Richtung bei, so gelangt er nach den Küsten Italiens. Führt er geringe Regenschauer herbei, so geht er leicht in Stürme über, ist er aber von heftigen Niederschlägen begleitet, so wehet er nur schwach, wie dieses sich namentlich bei den schrecklichen Ueberschwemmungen im Herbste 1840 zeigte, wo er nur einen Tag etwas merklich wehete, statt dafs er den ganzen vorausgegangenen Sommer hindurch sich durch seine Hitze und Trockenheit auszeichnete. In den Sommern 1771, 1772, 1773 zeigte sich der Mistral nicht, sie waren aber auch ausgezeichnet durch Hitze und Feuchtigkeit. Wenn nach den Beobachtungen von Poitevin zu Marseille heftige S.- und SO.-Winde mit vielem Regen geherrscht haben, so pflegt sich der Mistral erst dann einzustellen und heiteres Wetter zu bringen, wenn der Wind durch SO., O. nach NO. herumgegangen ist und sich in letzterer Richtung festsetzt. Wollte man dieses einzeln ins Auge fassen, so könnte man vermuthen, dafs beim Mistral, wie beim Föhn, ein Kampf zwischen den südlichen und nördlichen Luftströmungen statt fände und also heftige Regen entständen, wenn die ersteren, heiteres Wetter dagegen, wenn die letzteren die Oberhand erhalten, mit Rücksicht auf eine untere und obere Strömung beider und ihre Vereinigung. Dafs durch

---

1 Ein aus Gallia Narbonensis kommender, für Rom also ein Nordwestwind, sehr heftig, wahrscheinlich nach dem griechischen Worte *κιρκός*, *gyrus*, wegen seiner wirbelnden Bewegung benannt. S. Plin. H. N. L. II. c. 47. L. XVII. c. 2. Seneca Q. N. L. V. c. 17. Gellius N. A. L. II. c. 22.

die letztere, die Vermischung beider, nicht allezeit, wenn auch in der Regel, Niederschläge entstehn, glaube ich vielen Erfahrungen gemäfs annehmen zu dürfen, denn beide können auch trocken seyn, da sich die Eigenschaft unglaublicher Trockenheit den heifsen Winden nicht absprechen läfst, und hieraus liefse sich dann die Wärme erklären, die dem Mistral beigelegt wird, sowohl wenn er schwach wehend Niederschläge bringt, als auch wenn er bei gröfserer Stärke heiteres Wetter herbeiführt.

41) Die bisher betrachteten heifsen Winde sind die am frühesten und auch wohl am genauesten bekannten, weil die Gegenden, denen sie angehören, schon lange des Handels wegen viel besucht wurden; sie sind aufserdem wohl die heftigsten, weil jene Gegenden zu ihrer Erzeugung die geeignetsten Bedingungen darbieten. Da die letzteren aber auch an andern Orten in genügender Stärke vorhanden sind, so müssen sie sich daselbst gleichfalls zeigen. Man findet sie daher am westlichen Ende der Wüste Kobi[1], selbst in einigen Gegenden Hindostans[2] und auf den Llanos in America nach anhaltender Dürre[3]. Darf man den Erzählungen Haafner's[4] volles Vertrauen schenken, so übertreffen die Wirkungen der heifsen Winde, welche an der Küste Orixa und Coromandel periodisch wehen, selbst die der grofsen africanischen und asiatischen Wüste, wo nicht an absoluter Stärke, doch durch die Steigerung in Folge längerer Dauer. Hiernach dauert die Zeit der in ungleich langen Perioden wehenden heifsen Winde etwa sechs Wochen im April und Mai und man sucht sich darauf durch Aderlässe vorzubereiten. „Man hält mit Recht," sagt er, „den Strich der Erde „unter dem Aequator für den heifsesten; ich habe beinahe ein „Jahr daselbst gewohnt, ja ich habe einmal wegen Windstille, „wo die Hitze auf dem Meere doppelt so heftig ist, als auf „dem Lande, vierzehn Tage auf einem Schiffe unter dem „Aequator zugebracht; die Sonne sticht und brennt glühend, „doch ist dieses alles nichts gegen die erstickende Hitze zu „der genannten Zeit in Masulipatnam. In der ersten Woche ist

1 Ritter's Erdkunde. Th. I. S. 498.

2 Valentia Reise. Th. I. S. 134. Th. II. S. 258.

3 Humboldt Voyage. T. VI. p. 93.

4 Reise längs der Küste Orixa und Coromandel. In Sprengel's Biblioth. Th. XXXIX. S. 102.

„sie noch etwas erträglich, doch nimmt sie dann von Tag zu „Tag so sehr zu, daſs man am Ende nicht mehr weiſs, wohin „man sich wenden soll. Das Athmen wird kurz und schwer, „Gesicht und Hände werden versengt, die Haut wird trocken „wie Pergament, alle Ausdünstung stockt und kein Mittel kann „sie wieder herstellen[1], man bekommt Kopfschmerz mit Hals-„entzündung, so daſs man nicht schlucken kann, während ein „unausstehlicher Durst die Plage vermehrt; das einzige Er-„leichterungsmittel ist, den gröſsten Theil des Tages im Bade „hinzubringen. Die sonst so heitere Atmosphäre ist mit Nebel „erfüllt, welcher dem Horizonte eine trübe blaue Farbe giebt, „die Sonne erscheint als eine violette Scheibe, Teiche und Seen „trocknen aus, das Laub verdorret, die Vögel suchen das „Dickicht, die wilden Thiere verkriechen sich in ihre Höhlen „und es herrscht eine Todesstille. Der Wind ist zugleich „stürmisch, der aufgewirbelte Sand trübt die Atmosphäre, be-„deckt alles und dringt in die festverschlossenen Gemächer; zu-„weilen ist er in solcher Menge vorhanden, daſs er den Tag in „Nacht verwandelt und dann wieder glühend heiſs herabfällt."

Bis so weit bleibt alles in den Grenzen des Glaublichen; was aber Haafner weiter über die Wirkungen hinzufügt, erinnert unwillkürlich an die über den Samum verbreiteten Fabeln. Hiernach ist es gefährlich, besonders um Mittag, aus dem Hause zu gehn, weil die Luft zu sehr mit elektrischem Feuer geschwängert seyn soll, so daſs man die Strahlen desselben an der Erde hin und her fahren sieht und auf der Stelle stirbt, wenn man das Unglück hat, diese einzuathmen. Man umwickelt daher Mund und Nase mit Tüchern, aber dennoch erliegen alle Jahre mehrere Menschen diesem Uebel, deren ganzer Körper dann blaue Flecke erhält und aufschwillt, als wären sie vom stärksten Gifte getödtet worden.

Die unerträgliche Hitze wird durch den Landwind erzeugt, der um die Mitte der heiſsen Jahrszeit über die Moräste und sandigen Heiden wehet, welche Masulipatnam auf der Westseite umgeben. Er erhebt sich gewöhnlich Morgens um zehn Uhr und dauert ununterbrochen bis Nachmittags um vier Uhr, wo der Seewind, der die ganze Zeit als eine Wolkenbank am

---

1 Dieser scheinbare Mangel an Ausdünstung beruhet auf den nämlichen Gründen, als beim Samum. §. 36.

Horizonte ruhte, endlich durchbricht und mit seinem frischen Hauche die abgematteten Geschöpfe erquickt. Zuweilen geschieht es aber, daſs der Landwind im Kampfe mit dem Seewinde die Oberhand behält und diesen bis ans Ende des Gesichtskreises zurücktreibt, so daſs auf einen heiſsen Tag eine noch heiſsere Nacht folgt. Natürlich ist diese zugleich weit unangenehmer, denn die Luft ist dann noch dicker und das Athmen noch beschwerlicher, an Erholung durch Schlaf aber auf keine Weise zu denken.

42) Die Ursache, welche allen bisher genannten heiſsen Winden diese ihre Eigenschaft ertheilt, ist leicht aufzufinden, keineswegs aber ist dieses der Fall bei denen auf Neuholland, ja man sollte nach der Localität vielmehr kalte Winde aus derjenigen Gegend erwarten, aus welcher sie kommen. Inzwischen sind die Zeugnisse hierüber so übereinstimmend, daſs die Thatsache keinem Zweifel unterliegen kann. Die Insel ist bekanntlich am südöstlichen Theile vorzugsweise angebauet und auf diese Gegenden, namentlich Sidney, Port Jakson u. s. w. beziehen sich auch die Nachrichten von den dort herrschenden heiſsen Winden. Von hier aus gerechnet hat die Insel nach NW. und N. eine zusammenhängende Kette von Bergen, die so steil sind, daſs alle bisherige Versuche, sie zu übersteigen, bis jetzt vergeblich waren. Nach der Höhe und Ausdehnung dieser Berge wäre zu vermuthen, daſs die dorther wehenden Winde kalt seyn müſsten, allein gerade das Gegentheil findet statt, und da die Beschaffenheit jener Gegenden ganz unbekannt ist, so wäre es voreilig und anmaſsend, Hypothesen über die hierbei wirksamen Ursachen aufzustellen. Peron[1] erzählt darüber: „Nicht nur bringen die Nord- und Nordwest-Winde keine Kälte, sondern sie sind vielmehr für die Grafschaft Cumberland glühende Winde, die man mit dem Fürchterlichsten vergleichen kann, was Africa hiervon aufzuweisen hat. Ihr verzehrender Hauch zerstört alles, was seiner Wirkung ausgesetzt ist; nichts widersteht der Hitze dieses *Samum der Südwelt.* In wenigen Augenblicken welkt die kräftigste Vegetation dahin, vor ihm her vertrocknen Quellen und Bäche, und selbst die Thiere sterben zu Tausenden unter seinem unglücklichen Einflusse." Hiermit übereinstimmend lautet die Erzählung von

1 Reise, d. Ueb. Th. I. S. 331.

Collins[1], welche bereits oben[2] zum Beweise der nur zuweilen eintretenden, gleichsam unnatürlichen Wärme benutzt wurde. Auf gleiche Weise endlich erzählt John Liddiard Nichols[3]. Im Januar 1814 wehete dort der Wind aus NW., welcher allezeit sehr heifs ist, damals aber eine solche Hitze brachte, dafs das Thermometer auf 45°,6 C stieg und selbst die Vögel in den Käfigen davon starben.

43) Wie die veränderlichen Winde überhaupt, stehn auch die heifsen mit Gewittern im genauen Zusammenhange. Hierauf führt schon ihr wirbelartiger Charakter, denn häufig sind sie eigentliche Wirbelwinde, wie schon aus der Menge des aufgehobenen Sandes hervorgeht, oder sie sind von diesen begleitet, die wiederum, wenn sie sich als eigentliche Wettersäulen zeigen, bei weitem in den meisten Fällen mit Gewittern verbunden sind. Inzwischen erwähnt auch Dénon[4] ausdrücklich, dafs während des von ihm erlebten Chamsins am Nil ein Platzregen zu Mokatam alles überschwemmte, und aus den Angaben von Rüppell[5] läfst sich folgern, dafs die heifsen Winde bei Tor mit den heftigen Gewittern im Zusammenhang stehn, die sich dann am Sinai entladen.

44) Den heifsen Winden stehn die kalten entgegen, von denen jedoch keineswegs ein gleiches Aufheben gemacht wird, als von jenen, indem vielmehr die Reisenden sie nur beiläufig erwähnen. Der Grund hiervon liegt in dem Umstande, dafs die Menschen auf kurze Zeit hohe Grade der Kälte weit leichter ertragen und sich ungleich besser dagegen schützen können, als gegen den Einflufs der unglaublichen Hitze in den Sandwüsten der äquatorischen Zone. Im Allgemeinen pflegt man die Wärme der Winde überhaupt nicht als etwas Wesentliches besonders zu beachten, man redet von ihren übrigen Eigenschaften und betrachtet dabei die Temperatur derselben als Nebensache, weil diese in der Regel die zu dieser Zeit herrschende oder wenig davon abweichend ist. Nur ausnahmsweise sind die Winde zuweilen im Winter vor heftigen Stürmen sehr warm und im Sommer nach starken Gewittern in Folge der

---

1 Account of New-South-Wales. p. 153.
2 Vergl. Art. *Temperatur.* Bd. IX. S. 463.
3 Reise nach Neuholland. Weim. 1819. S. 393.
4 Voyage. p. 179.
5 Reisen. S. 185.

herabsinkenden oberen Luftmassen sehr kalt[1], im Allgemeinen aber je nach der Jahreszeit kalt oder warm, ohne dafs dieses bemerkt zu werden verdient, und nur dann werden sie nach dieser ihrer Eigenschaft eigens bezeichnet, wenn sie sich durch dieselbe sehr auffallend auszeichnen. So wie es hiernach die eben betrachteten heifsen Winde giebt, kennt man allerdings auch kalte, die sich auf gleiche Weise durch eine Temperatur tief unter der mittleren der Umgebung, wie jene durch eine über derselben auszeichnen. Eine Unterscheidung der warmen und kalten Winde kann also nicht darauf beruhen, dafs einige derselben über, andere unter einer gewissen Grenze temperirt sind, denn überall finden diese Unterschiede statt, wie z. B. in Europa sich die südlichen und westlichen hierdurch allgemein von den nördlichen und östlichen unterscheiden, sondern der Unterschied mufs hervorstechend und durch specielle Ursachen herbeigeführt seyn.

Kalte Winde zeigen sich häufig in etwas längeren Thälern, wenn Seitenthäler auf sie stofsen, aus denen, wenn sie in die Nordseite der Berge einschneiden, die kalte Luft herabfliefst und einen dem Hauptthale eigenthümlich zugehörigen Wind erzeugt. Vorzugsweise kalt sind sie dann, wenn sich das Eis in den Thälern den ganzen Sommer hindurch erhält, und da der Dampfgehalt der Luft mit der Temperatur wächst, so müssen sie zugleich in einem hohen Grade trocken seyn. Solche kalte und trockne Winde giebt es vorzüglich im hohen Asien, in Tibet, die im Winter oft mehrere Tage aus N. und NO. wehn, die Haut springen und die Meubels reifsen machen, und denen kein Reisender widersteht, wenn sie zu Stürmen übergehn, in welchem Falle sie *Buranen* genannt werden. Der Engländer Saunders und seine Gefährten verloren durch diese Winde fast alle ihre Gesichtshaut. Ein eigentliches Gegenstück zu den heifsen Winden liefern ferner die kalten und schneidenden Winde, welche nach Pottinger[2] in der Wüste von Beludschistan während der Sommermonate zuweilen wehn. Sie entstehn unerwartet, wenn der Himmel bis auf einige kleine Wolken in NW. ganz rein ist, nach vorausgegangener drückender Schwüle und nach den zahlreichen kleinen Wirbelwinden,

1 Vergl. Brandes Beiträge. S. 370.

2 Reisen durch Beloochistan u. Sind. Weim. 1817. S. 202.

die den Sand in ungleich dicken Säulen, wie die Wettersäulen, in die Höhe heben. Der kalte Wind ist meistens von heftigen Regengüssen begleitet, hält nur etwa eine halbe Stunde an, verdunkelt die Luft so, dafs man auf zehn Schritte niemand sehn kann, und ist so heftig, dafs die Reisenden sich hinter ihren Kameelen verbergen müssen, um ihn auszuhalten. Er hat den Nutzen, dafs er die drückende Hitze jener Gegenden auf einige Zeit mildert. Diesen Stürmen ähnlich, aber ungleich verheerender, sind die kalten Stürme, *Wiuga* genannt, welche, mit Schneegestöber begleitet, mehrmals im Jahre die russischen Steppen heimsuchen. Sie sind zwar durch ihre hohe Kälte gefährlich, weit mehr aber durch ihre Gewalt, welche so grofs ist, dafs niemand auch bei der gröfsten Dringlichkeit sich aus dem Hause wagt, Reisende aber sogleich einkehren oder in der Richtung der Wiuga das nächste Unterkommen suchen. Dennoch kommen mehrere Menschen, die dadurch überrascht werden, um, das Vieh in den Ställen mufs hungern und dursten, weil niemand vom nahen Futter oder Wasser zu holen vermag, im Freien aber kommen ganze Heerden um, die in Schneeschluchten gewehet werden oder in wilder Flucht sich hineinstürzen. Ihre Dauer beträgt meistens drei Tage[1].

Hieran reihen sich dann die *Schneestürme*, von denen bereits die Rede war[2], die sich indefs nicht sowohl durch ihre Kälte, als vielmehr durch ihre Heftigkeit auszeichnen. Auf gleiche Weise heftig, als in Norwegen, aber ungleich kälter, sind sie in Neufundland, wo sie aus allen Richtungen kommen, das in Eis verwandelte Seewasser über die Ufer treiben und den Boden überall sehr bald mit tiefem Schnee bedecken, welcher den Eingang in die Häuser versperrt[3]. Solche Schneestürme finden sich indefs nicht blofs in kalten Gegenden unter höheren Breiten, sondern auch in südlichern, durch hohe Sommerhitze ausgezeichneten. So erzählt Ker Porter[4] von denen, die zu Tabriz (Tebris, Tauris, in Persien) herrschen und welche zuweilen für ganze Gesellschaften lebensgefährlich sind. Er

1 S. Kohl im Magazin für d. Literatur des Auslandes. Vergl. Berghaus Ann. 1839. Dec. p. 277.

2 S. Art. *Schnee.* Bd. VIII. S. 564.

3 Geschichte und Beschreibung von Neufundland und d. Küste von Labrador. A. d. E. von C. A. Anspach. Weim. 1822. S. 141 u. 151.

4 Reisen u. s. w. Weim. 1823. S. 292.

selbst erlebte dort einen solchen, wobei die Kälte bis — 10°,5 und während der Nacht sogar bis — 21° C. herabging und die Gegend mit mehrere Fuſs hohem Schnee bedeckt wurde, welcher bis in den März liegen blieb.

45) g) Bei weitem die gröſste Zahl der Winde sind die *veränderlichen*, weswegen man häufig nur regelmäſsige und veränderliche zu unterscheiden pflegt. Sie sind über den gröſsten Theil der Erde verbreitet, rücksichtlich ihrer Stärke von den langsamsten Bewegungen bis zu den heftigsten Orkanen verschieden, und unterliegen rücksichtlich ihrer Richtung keiner Regel, mit Ausnahme des allgemeinen Drehungsgesetzes, wovon später die Rede seyn wird.

Aus den im ersten Abschnitte (A) angestellten Untersuchungen geht hervor, daſs partielle Erwärmungen oder Erkältungen der Luftmassen als alleinige Ursache der Winde anzusehn sind, und so müssen auch die veränderlichen hieraus abgeleitet werden; allein es ist nicht wohl möglich, auch den Ursprung dieser auf gleiche Weise unmittelbar hierauf zurückzuführen, wie bei den bisher betrachteten geschehn ist, weil die anderweitig bedingenden Umstände so zahlreich und zugleich so wirksam sind, daſs es Mühe kostet, die ursprüngliche Ursache wieder aufzufinden. Inzwischen geht Folgendes leicht und unverkennbar aus der Natur der Sache hervor. Wenn die Luft unter der äquatorischen Zone auf eine solche Weise erhitzt wird, wie sich aus der Entstehung des Passate entnehmen läſst, und wenn sie daher mit einer ihrer erhöhten Wärme zukommenden Geschwindigkeit aufwärts strömt, oben wieder abflieſst, die kalten Luftmassen von den Polen her dagegen herbeiströmen und in den verdünnten Raum eindringen, in den oberen Regionen aber die wärmere Luft nach höheren Breiten hin abflieſst, so wird hierdurch allein schon eine Bewegung des ganzen groſsen Luftoceans entstehn, welche mit den gehörigen Modificationen an jedem gegebenen Orte Winde zu erzeugen im Stande seyn muſs. Es läſst sich denken, daſs auf einer überall ebenen Erdkugel diese Hauptströmung der kälteren Luft von den Polen zum Aequator über der Erdoberfläche und umgekehrt der wärmeren vom Aequator zu den Polen in den oberen Luftregionen die einzig statt findende wäre, wonach dann die Windrichtung an allen Orten sich stets gleich und leicht bestimmbar seyn würde. So wie ferner die von den Polen herzuströmende Luft gegen den Aequator hin in Folge

der Erdrotation auf der nördlichen Hemisphäre eine nordöstliche, auf der südlichen eine südöstliche Richtung annimmt, mufs aus gleicher, aber entgegengesetzt wirkender Ursache die oben abfliefsende Luft auf der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, auf der südlichen eine nordwestliche Richtung erhalten. Beide nothwendig bedingte Erscheinungen finden wirklich statt, und wenn wir dieselben genau ins Auge fassen, so läfst sich leicht ermessen, was für eine Menge veränderlicher Winde einfach schon dadurch gegeben wird, dafs diese beiden Hauptströmungen durch Aufsteigen oder Herabsinken partieller Luftmassen an irgend einem Orte gegen einander stofsen und nach der jederzeitigen ungleichen Stärke der einen oder der andern derselben eine mittlere Richtung annehmen.

46) Sofern die Erdoberfläche zum Theil aus Wasser, zum Theil aus festem Lande besteht, letzteres an vielen Orten mit hohen und in steilen Spitzen emporragenden Bergen bedeckt ist, aufserdem aber die stärkste Erhitzung des Bodens und der über ihm ruhenden Luft wegen örtlicher Einflüsse ungleichen Breitengraden zugehören kann, dürfen wir auf keine Weise die angegebenen oberen und unteren Luftströmungen als überall statt findend erwarten; dafs sie inzwischen im Allgemeinen wirklich vorhanden sind, dafür zeigt die Existenz der Passatwinde und in Beziehung auf die minder leicht wahrnehmbare obere eine Menge von Phänomenen, die im Verfolge der Untersuchungen sich ergeben werden. Ein auffallendes Beispiel liefert die oben (§. 32) erwähnte Erscheinung des Föhns, welcher in Gemäfsheit seiner hohen Temperatur, die nach einigen Angaben zuweilen über 40° C. hinausgeht, nur aus Luftmassen bestehn kann, welche von der africanischen Wüste aufsteigen, in bedeutender Höhe von Süden nach Norden herbeigeführt seyn müssen und diesseit der Alpen eine südwestliche Richtung annehmen. Inzwischen sind die Ursachen, welche die normale Richtung sowohl des unteren, als auch des oberen Hauptstromes abändern, so vielfach und so wirksam, dafs man dieselbe mitunter gar nicht mehr zu erkennen vermag. Hierher gehören vor allen Dingen partielle Erwärmungen trockener und pflanzenleerer Ebenen, umgeben von bewachsenen, wohl gar waldigen oder gebirgigen Districten, über denen an sonnigen Tagen ein starker Luftstrom aufsteigt und die herrschende Windrichtung bedeutend modificirt. Auf eine ganz

entgegengesetzte Weise wirken nicht sowohl Berge überhaupt, als hauptsächlich mit Eis und Schnee bedeckte Kuppen und mit Gletschern erfüllte Thäler, wodurch die Luft abgekühlt wird und im Verhältnifs der Höhe mit grofser Geschwindigkeit herabsinkt. Noch weit stärker, als diese kalten Winde in den Thälern des Neckars und des Rheins (§. 25) sich zeigen, werden sie in der Nähe hoher Berge selbst auf der See wahrgenommen, und Kämtz [1] leitet aus dieser Ursache die heftigen Stürme an Norwegens Küsten und in Finnmarken ab, von denen Leopold v. Buch [2] erzählt, und die um so leichter dort entstehn können, je mehr die Wärme des Meeres die der hohen Felsenküsten übertrifft. Die Thäler der Schweizeralpen [3], so wie aller Hochgebirge sind wegen der darin herrschenden Stürme bekannt, und dafs diese sich auch in den Cordilleren finden, erwähnt v. Humboldt [4].

Eine specielle Untersuchung ist diesen Winden, namentlich denen, die sich im Rhonethale zeigen, durch Fournet [5] zu Theil geworden, wovon wir hier der Kürze wegen nur einige Hauptsachen mittheilen wollen. Aus dem Münsterthale im Elsafs strömt jeden Abend nach windstillen und warmen Tagen ein auffallend kalter Wind in die Ebenen von Colmar, welcher dort *Thalwind* heifst, und ebenso in den längeren Tagen um 9 bis 10 Uhr, in den kürzeren um 6 Uhr der dort so genannte *Pontias* in die Gegend von Nyons im Departement der Drome. Seine Stärke wächst im Fortgange der Nacht, wird mit Aufgang der Sonne schwächer und hört dann nach einigen Stunden ganz auf. Seine Kälte ist, selbst im heifsen Sommer, so energisch, dafs er zuweilen Reif erzeugt; an einzelnen sehr heifsen und auch an regnerischen Tagen bleibt er zuweilen aus, auch wurde er bei dem tiefen Schnee im Winter 1639 auf 1640 nicht beobachtet. Ueber seinen Ursprung herrscht unter andern die Fabel, dafs der heilige Cesaris den

1 Meteorologie. Th. I. S. 214. Da diese Stürme eine nordwestliche, mithin eine auf die Küste im Ganzen perpendiculäre Richtung haben und meistens warm sind, so dürfte die Ursache ihrer Entstehung eine mehr zusammengesetzte seyn. Vergl. §. 97.

2 Reise nach Norwegen und Lappland. Th. II. S. 40 u. 91.

3 Scheuchzer Naturgeschichte des Schweizerlandes. Th. III. S. 8.

4 Voyage. T. VII. p. 211.

5 Des brises de jour et de nuit autour des montagnes (Extrait de la météorologie du Bassin du Rhone). 4.

Wind des Meeres in einem seiner Handschuhe gefangen und gegen den Felsen geworfen habe. In einem andern, nicht weit entfernten Thale herrscht um Mittag, hauptsächlich an heifsen Tagen, ein Wind, *Vesine* (böser Wind) genannt, welcher über das Dorf Pilles hinaus sich in der Ebene ausbreitet. Ein kalter Wind, *Solore* genannt, kommt aus einem Thale unweit Saillans und folgt dem Laufe der Drome; manche kalte Winde jener Gegenden haben eine so niedrige Temperatur, dafs man in den Thälern, wenn diese sehr erhitzt sind, oft aus einer sehr heifsen Luftschicht unmittelbar in eine sehr kalte kommt. Aehnliche sollen aus den Thälern zu Chateau-neuf-de-Bordette, zu Benivai, zu St. Mai und zu Venterol herrschen, und Fournet selbst fand sie zu St. Eulalie und St. Laurent; auch unterliegt es keinem Zweifel, dafs sie sich noch aufserdem an vielen andern Orten finden, ohne jedoch bis jetzt genauer beschrieben worden zu seyn. Wenn wir aufser diesen sehr entscheidenden Beispielen berücksichtigen, dafs Fournet bei aufmerksamer Untersuchung dieser Phänomene noch eine Menge ähnlicher partieller Luftströmungen auffand, z. B. im Thale von Azergue, von Brevenne und von Gier an der östlichen Seite der Lyonesischen Gebirge, und im Thale von Ondaine an der entgegengesetzten westlichen Seite, dafs er ferner ihr Vorhandenseyn in den Alpenthälern von Maurienne, Aosta und vielen andern nachgewiesen hat, so müssen wir hiernach schliefsen, dafs sie nicht nur sehr häufig, sondern in allen zu ihrer Entstehung geeigneten Thälern vorhanden sind. Sie zeigen sich vorzugsweise als kalte, aus den Thälern in die Ebenen herabwehende Winde, aber auch entgegengesetzt als aufwärts strömende, wenn genügend ausgedehnte Flächen die Erzeugung eines hinlänglich starken aufsteigenden Luftstromes in Folge starker Erwärmung durch die Sonnenstrahlen gestatten. Mitunter sind beide an den nämlichen Orten vorhanden und wechseln nach den Tagszeiten, indem sie zugleich von der Stärke örtlicher Erhitzungen und Abkühlungen abhängen. Beide sind am heftigsten in engen und von grofsen Höhen sich herabziehenden Thälern, und werden schwächer, wenn sie sich weiter ausbreiten; wechseln beide mit einander, so tritt eine Zwischenperiode unbestimmter Schwankungen ein, deren Anfang und Dauer von den Jahreszeiten und der herrschenden Witterung abhängt. Die Configuration der oberen Theile der

Thäler ist von bedeutendem Einfluſs auf das Entstehn dieser Winde nach den Tags- und Jahreszeiten. So zeigen sie sich am Tage hervorstechender zu Maurienne, bei Nacht zu Nyons, der Winter mit seinem Schnee begünstigt den Nachtwind mehr an beiden genannten Orten, der Sommer mehr den Tagwind zu Maurienne, an einigen und wohl an den meisten Orten heben die oberen, etwas starken Winde diese örtlichen gänzlich auf, an andern, z. B. im Thal Sesia, können sie sie nicht ganz unterdrücken, und wenn die periodischen eine umgekehrte Richtung erhalten, so ist dieses meistens ein sicheres Vorzeichen nachfolgenden Regenwetters. Auch örtliche Temperaturverhältnisse können die Entstehung dieser Winde hindern, wie z. B. der Pontias in den kürzesten Sommernächten ausbleibt, wenn das erhitzte Thal nicht Zeit hat, sich hinlänglich abzukühlen. Endlich läſst sich leicht ermessen, daſs der Wechsel der Temperaturen, welcher durch diese Winde herbeigeführt wird, auf die Gesundheit der Thalbewohner und auch auf die Vegetation in den Thälern einen sehr merkbaren Einfluſs ausüben muſs.

Die Entstehung dieser Winde läſst sich leicht auf die im ersten Abschnitte angegebenen pneumatischen Gesetze zurückführen, wonach die wärmere Luft mit einer bestimmbaren Geschwindigkeit aufsteigen, die kältere aber herabsinken muſs. Dieses ist unter andern auch durch Saigey[1] geschehn, auch erklärt Gras den Ursprung des Pontias auf diese Weise, allein Fournet wendet hiergegen ein, daſs für gleichmäſsige Abkühlung der Luft in der Höhe und in der Tiefe die täglichen und nächtlichen Wechsel nicht statt finden könnten. Nach seiner Ansicht sind daher die hier betrachteten wechselnden Winde den bekannten Land- und Seewinden nicht vollkommen, sondern nur zum Theil gleich, weil eine ungleiche Erwärmung und Abkühlung der Luft über Ebenen und in Thälern statt findet, indem die letzteren, hauptsächlich wenn sie an ihren Erweiterungen mit ausgedehnteren Felsenwänden umgeben sind, durch das Auffallen der Sonnenstrahlen auf diese ganz ungemein erhitzt werden, worauf dann aber, wenn diese Ursache aufhört, eine sehr bedeutende Erkaltung eintreten muſs,

1 In: Physique du Globe, welches Werk durch Fournet benutzt worden ist.

weil die erwärmte Luft aufgestiegen ist und die umgebende kalte desto energischer in den verdünnteren Raum eindringt. Unleugbar ist das Verhalten bei der Entstehung dieser periodischen Winde ungleich verwickelter, als dasjenige, welches die See- und Landwinde erzeugt, und es lassen sich daher keine einfache, für alle Fälle genügende Gesetze hierüber aufstellen, vielmehr müssen die Modificationen für jeden einzelnen Fall aus den vorhandenen örtlichen Bedingungen abgeleitet werden.

Wie durch wässerige Niederschläge nothwendig Luftbewegung entstehn müsse, indem durch das Herabfallen derselben die unteren wärmeren Massen abgekühlt werden, dadurch an Elasticität verlieren, die oberen dagegen in diesen Raum herabsinken und die einmal eingeleitete Wirkung vermehren, ist bereits oben erwähnt worden. Wenn man aber berücksichtigt, dafs die hierdurch erzeugten Bewegungen allezeit in dem ohnehin schon bewegten Luftocean statt finden, durch das Zusammenfallen beider Bewegungen aber, je nach dem Verhältnifs ihrer gegenseitigen Stärke, neue mittlere entstehn müssen, so läfst sich leicht ermessen, wie vielfach der Wechsel in Richtung und Stärke bei den veränderlichen Winden seyn mufs. Hieraus ergiebt sich dann zugleich ein nahe liegender natürlicher Grund, warum die Winde während der Dauer solcher Niederschläge leicht wechseln, endlich aber eine bestimmte Richtung annehmen und diese dann eine längere Zeit beibehalten.

47) Die Hauptursache, welche die allgemeinen Strömungen im Luftoceane erzeugt, gehört der äquatorischen Zone an, und daher sind auch dort die Winde, mindestens in den unteren Regionen, am regelmäfsigsten, mit Ausnahme der zwischen beiden Passaten liegenden mittleren Zone der Windstillen und veränderlichen Winde. Je weiter man sich von hier aus nach den Polen entfernt, um desto zahlreicher sind, namentlich auf der nördlichen Halbkugel, die Bedingungen, welche die Richtung der Winde abändern, und es wird hieraus begreiflich, warum die beständigen Winde der äquatorischen Zone ausschliefslich angehören, mit zunehmenden Breiten aber stets mehr in veränderliche übergehn. Selbst die beständigen Winde werden mitunter durch locale Ursachen veränderlich, wozu auf dem Meere vorzugsweise die Küsten, auf dem Lande die Gebirgszüge gehören[1]. Die mit mäfsiger Geschwindigkeit we-

1 Interessante und lehrreiche Bemerkungen über den Einflufs der

henden Passate finden auf dem Lande vielfache Hindernisse, sie werden also daselbst unterbrochen und beginnen erst wieder in nicht unbeträchtlicher Entfernung von den Küsten, wie oben (§. 19) angegeben worden ist. Auf wie mannigfache Weise die Moussons durch die Richtung der Küsten bedingt werden, wird sich aus den später über sie anzustellenden Untersuchungen ergeben. Vorzugsweise äufsert die Richtung und Ausdehnung der Küsten einen bedeutenden Einflufs auf die wechselnden Land- und Seewinde. Beide sind normal auf die Küsten gerichtet, wenn letztere gerade und von grofser Ausdehnung sind, im entgegengesetzten Falle aber und hauptsächlich dann, wenn andere Strömungen vorherrschen, zeigen sich bedeutende Abweichungen von dieser Regel. In der äquatorischen Zone bewirkt der beständige Ostwind, dafs der Seewind an den östlichen Küsten stärker, der Landwind schwächer ist, und dafs an den westlichen Küsten das Gegentheil statt findet, wie Forster[1] bereits bemerkt hat. Kämtz[2] hat hierüber einige sehr interessante Thatsachen zusammengestellt. Haben die Küsten eine Neigung gegen die Richtung der herrschenden Winde, so verändern sich der Seewind und Landwind während ihrer Dauer, namentlich entfernt sich der erstere Morgens etwas von der Richtung der herrschenden Luftströmung und im Verfolge zunehmend, bis er etwa um 3 Uhr lothrecht auf die Küste gerichtet ist und dann allmälig zur ursprünglichen Richtung wieder zurückkehrt. Da, wo z. B. die Küste Sumatra's[3] sich von NW. nach SO. erstreckt, sollte der Seewind aus SW., der Landwind aus NO. wehn, allein wenn daselbst ein NW.-Wind herrscht, wie dieses einige Monate lang der Fall ist, so folgt auf diesen ein Seewind aus W. Die Küste der Campechebai[4] hat eine Richtung von O. nach W. und die herrschende Windrichtung ist daselbst ONO., die Land- und Seewinde, die hiernach aus N. und S. kommen müfsten, wehn aus NO. und SO. Aehnliche aus den herrschenden und den Brisen zusam-

---

Berge auf die Windrichtungen hat Hopkins der Versammlung der britischen Naturforscher im Jahre 1841 mitgetheilt. S. l'Institut 1841. Nr. 412.

1 Bemerkungen über Gegenstände d. phys. Erdbeschreib. S. 109.

2 Meteorologie. Th. I. S. 172.

3 Marsden's Sumatra. p. 17.

4 Dampier Traité des Vents. p. 35.

mengesetzte Windrichtungen findet man auf Batavia[1], allgemein aber erheben sich die Land- und Seewinde nicht zu bedeutenden Höhen, denn die Wolken behalten fortwährend diejenige Richtung bei, welche ihnen durch die herrschenden Winde gegeben wird[2].

48) Auch auf die Stärke der Brisen soll nach Kämtz die Configuration der Küsten einen entscheidenden Einfluſs äuſsern, und zwar in der Art, daſs bei weit vorspringenden Vorgebirgen den Landwind geringer und beinahe verschwindend wird, bei Meerbusen aber das Gegentheil statt findet. Als Beweis wird unter mehreren angeführt, daſs an den Vorgebirgen, die sich am nordöstlichen und südöstlichen Theile von Jamaica befinden, die Landwinde zu den Seltenheiten gehören, weswegen die Schiffer den Wahn hegen, diese würden daselbst durch böse Dämonen zurückgehalten, ja einige Male begaben sich Expeditionen auf das Cap Pedro, um die vermeintlichen Dämonen zu vertilgen[3]. Dampier[4] fand an der Westküste America's, am Cap Passao, St. Laurence, Cap Blanc u. s. w. nie Landwinde, dagegen im Meerbusen der Campechebay zwischen Cap St. Martin und Condecedo dieselben stärker, als in irgend einem andern ihm bekannten Puncte, wobei jedoch Kämtz mit Recht erinnert, daſs hier die starken Landwinde wohl durch die von den Bergen herabströmenden kalten Luftmassen erzeugt werden mögen. Auf dem Festlande geben übrigens, abgesehn von den Sandwüsten als Sitzen der heiſsen Winde, sandige Ebenen durch Erhitzung der über ihnen ruhenden oder leicht bewegten Luftmassen, ausgedehnte waldige Gegenden durch Abkühlung derselben, Thäler, welche Bergzüge durchschneiden, und selbst Ströme in Folge der Bewegung, die sie den ihnen adhärirenden, fortwährend von ihnen mit Wasserdampf erfüllten Luftmassen mittheilen, eine Menge Bedingungen, wodurch die allgemeine Luftströmung abgeändert und die groſse Ungleichheit der gleichzeitig und an nicht eben sehr weit von einander entfernten Orten wehenden Winde erzeugt werden kann. Vor allen Dingen aber äuſsern gröſsere Waldungen und

1 Verhandelingen van het Bataviaasch Genootschap. T. I. p. 46.
2 Le Gentil Voyage. T. I. p. 480.
3 Dampier Traité des Vents. p. 33.
4 Ebendaselbst.

insbesondere Bergzüge einen entschiedenen Einfluſs auf die Abänderung der Windrichtungen, ja es bedarf hierzu nicht einmal groſser Urwaldungen und ausgedehnter Ketten von Urgebirgen, sondern selbst kleinere, aber dichte Wälder und niedere Bergzüge bringen eine unerwartete Wirkung hervor. Nach Aeuſserungen O. Eisenlohr's wird die Windrichtung zu Straſsburg und Carlsruhe, wie nahe auch beide Orte einander liegen, durch die Vogesen und die Schwarzwaldgebirge merklich abgeändert; wählt man aber ausgedehntere Strecken, so geben gleichzeitige Beobachtungen sehr ungleiche Windrichtungen an den verschiedenen Orten. Solche gleichzeitige Beobachtungen sind selten, jedoch haben wir deren genug in den Mannheimer Ephemeriden[1], um daraus die Richtigkeit des aufgestellten Satzes zu erweisen. Einige sehr interessante Thatsachen zur Unterstützung dieser Behauptung hat Fournet[2] durch die Zusammenstellung der gleichzeitigen Windrichtungen zu Paris mit denen zu Lyon, zu Marseille, zu Toulon, im Thalgebiete der Rhone, der Durance u. s. w. und der letztern unter sich geliefert. Unter andern erwähnt er auch, daſs nach den Angaben von Merian über verschiedene Puncte bei Basel und von Meyer über Mühlhausen im benachbarten Elsaſs die Windrichtungen an diesen einander sehr nahe liegenden Orten durch den Einfluſs der Gebirge und der Krümmung des Rheins sehr merkliche Aenderungen erleiden. Von vorzüglicher Wichtigkeit sind in dieser Beziehung seine Untersuchungen über den im südlichen Frankreich herrschenden *Mistral* (§. 40). Dieser weht in der Richtung WNW., N., NW., je nachdem er im Thale der Aude oder der Rhone herabsinkt, von wo aus er dann als Nord- oder als Nordwestwind über das mittelländische Meer fortgeht. De Saussure suchte die Ursache seines Entstehens in der höheren Temperatur des Wassers im Meerbusen von Lyon, allein Fournet stellt diesem entgegen, daſs diese Wirkung nur bei Nacht und im Winter statt finden könne, mithin auf den auf gleiche Weise im Sommer und am Tage wehenden Mistral nicht anwendbar sey, wie vor allem auffallend daraus hervorgehe, daſs er eine dem Seewinde an der

---

1 Vergl. Brandes Witterungskunde S. 50, 77 u. a. a. O.

2 Recherches sur la distribution des Vents dominants en France (1841).

Küste des südlichen Frankreichs entgegengesetzte Richtung habe. Dagegen läfst sich aus der Configuration der diese Gegenden des südlichen Frankreichs einschliefsenden Berge leicht nachweisen, dafs durch den Widerstand, welchen diese den im mittleren und nördlichen Frankreich im Ganzen herrschenden Westwinden entgegenstellen, diese eine mehr nördliche Richtung annehmen und in NW. und N. Wind übergehn müssen. Auf gewisse Weise könnte man den Mistral diesemnach als einen im Grofsen hervortretenden Thalwind betrachten, welche Fournet gleichfalls näher untersucht hat (§. 46), die ganze Sache gewinnt aber noch bedeutend an Wichtigkeit, wenn wir sie in Beziehung auf die allgemeine Strömung im Luftocean der nördlichen Halbkugel und namentlich auf das später zu erörternde allgemeine Drehungsgesetz betrachten. Es stellt sich nämlich unverkennbar heraus, dafs der in Europa, mindestens dem westlichen, vorherrschende W.-Wind (§. 69) mit etwas südlicher Richtung, welcher als eine Fortsetzung des umkehrenden SW.-Passates betrachtet wird, theilweise im südlichen Frankreich eine nördliche Richtung annimmt, und dafs also auf diese Weise beträchtliche Luftmassen dem Aequator wieder zuströmen, um zur Bildung des NO.-Passates der nördlichen Halbkugel beizutragen.

Vorzugsweise ist die Richtung der Winde an verschiedenen Orten ungleich bei localen Stürmen, wie später (§. 100) gezeigt werden soll, aber man trifft dieses auch ohne jene gewaltsamen Luftbewegungen. Um eins der neuesten Beispiele anzuführen, erwähne ich die verschiedenen Windrichtungen, welche bei den correspondirenden Beobachtungen am 22. März 1841 wahrgenommen wurden[1]. Es herrschten Mittags 1 Uhr zu Gröningen, Franeker, Utrecht, Lyon und Mailand S.; zu Amsterdam SO.; zu Gent, Boulogne und Neapel SSW.; zu Alost SSO.; zu Löwen, Brüssel, Genf und Krakau SW.; zu Maestricht und Paris NW.; zu Marseille O.; zu Toulon NO.; zu Parma WNW.; zu Lemberg WSW.

49) Wie leicht durch das Zusammenwirken dieser verschiedenen Ursachen veränderliche Winde erzeugt werden, erkennt man leicht, es darf aber dabei die Hauptveranlassung der unausgesetzten Strömung des Luftoceans von den Polen zum

1 Bulletin de l'Acad. Roy. de Brux. T. VIII. p. 470.

Aequator in den unteren Regionen und vom Aequator nach den Polen grofsentheils in den oberen nicht übersehn werden. Hierbei würden sich zwar die kalten Polarströme stets in den unteren Regionen erhalten, die leichteren äquatorischen aber über ihnen hinfliefsen, wie denn überhaupt der kältere Luftstrom der niedrigere, der wärmere der obere zu seyn, und wenn beide einander begegnen, der letztere durch den ersteren emporgehoben zu werden pflegt; wenn aber beide sich mit einander vermischen, was unausbleiblich sehr oft geschehn mufs, dann entstehn Niederschläge, und dadurch wird genügende Veranlassung zur Erzeugung veränderlicher Winde gegeben. Die über der Passatzone aufsteigenden, nach den Polen hin abfliefsenden Luftmassen müssen sich anhäufen, durch ihre wachsende Masse bald herabsinken, und aus dieser Ursache entstehn schon an den äufseren Grenzen der Passate Stürme, die von den Seefahrern in beiden Hemisphären oft wahrgenommen werden. Weiter nördlich zwischen 30° und 40° werden die Winde wieder regelmäfsiger, vorzüglich auf der südlichen Halbkugel, wo die störenden Bedingungen minder zahlreich sind[1]; die mehr abgekühlten äquatorischen Luftmassen erzeugen auf der nördlichen Halbkugel aus oben (§. 19) angegebenen Gründen einen SW.- und auf der südlichen ei- NW.-Wind von solcher Regelmäfsigkeit, dafs die Schiffer von einem Westpassate in diesen Breiten reden. Aus dieser Ursache wählen die Ostindienfahrer die Richtung, dafs sie zuerst nach den Küsten America's und dann mit dem regelmäfsigen NW.-Winde nach dem Vorgebirge der guten Hoffnung steuern[2]. Kämtz[3] folgert indefs aus den Angaben mehrerer Reisenden, dafs unter zunehmenden Breiten der Ostwind wieder regelmäfsiger werde, indem Cook diese Richtung auch auf der südlichen Halbkugel als die herrschende antraf. Hiernach würden also die veränderlichen, vorzüglich westlichen Winde den mittleren, die regelmäfsigen, namentlich östlichen Winde aber der äquatorischen, von den Polen nach niederen Breiten hin fliefsende Luftströmungen endlich den höheren nördlichen und

1 Daniell Essays. p. 104.

2 Bernardine in: Oxford Voyages and Travels. T. II. p. 32.

3 Meteorologie. Th. I. S. 209. Er beruft sich auf Forster's Bemerkungen u. s. w. S. 110.

südlichen Zonen vorzugsweise angehören. Nähere Bestimmungen hierüber lassen sich aus dem allgemeinen Drehungsgesetze entnehmen (§. 71).

Als eigenthümliche Winde ließen sich hier noch die Tornados, Hurricane, Typhons und andere anreihen, die ich aber für den Abschnitt E. aufspare.

C. Richtung der Winde.

50) Man betrachtet gemeiniglich die Winde als mit gleichbleibender Geschwindigkeit in horizontaler Richtung fortbewegte Luftmassen, inzwischen zeigen die gemeinsten täglichen Erfahrungen, daſs mindestens bei den veränderlichen die Bewegungen in Absätzen stoſsweise erfolgen, und um den Ursprung der Wasserwellen namentlich beim Meere zu erklären, wird angenommen, daſs der Wind wo nicht in verticaler, doch in geneigter Richtung gegen die Wasserfläche stoſse. Betrachten wir zuerst die horizontale Richtung, so ist diese wohl deswegen die natürlichste, weil die Luftmassen sich über der festen Erdoberfläche oder dem noch ebenern Meeresspiegel hin bewegen. Allein die Erde ist an den meisten Orten uneben, die Erhabenheiten derselben dienen als Hindernisse, die Luft steigt an der Vorderseite der Berge empor und sinkt wegen ihrer starken Bewegung an der abgewandten Seite derselben wieder herab, wird dadurch in ihrer gleichmäſsigen Bewegung gestört, und hieraus sind wohl die abwechselnden stärkeren Luftstöſse ganz oder gröſstentheils abzuleiten. Auf offener See sind nach den Erfahrungen, die ich auf der Nordsee und dem adriatischen Meere zu machen Gelegenheit hatte, die absatzweise erfolgenden Windstöſse bei weitem nicht so ungleich, als auf dem Lande, und auch auf hohen Bergen zeigt sich die Luftbewegung weniger unterbrochen; doch habe ich auf der Spitze des Brockens einige Male bis zum Sturm gesteigerte Winde beobachtet, bei denen die intermittirend erfolgenden Stöſse sehr ungleich an Stärke waren. Hieraus dürfte auch das auffallend starke Brausen erklärbar seyn, welches man häufig wahrnimmt, wenn bei mäſsiger Luftbewegung oder sogar Windstille in den unteren Regionen heftige Stürme in den oberen herrschen, wenn anders dieses Getöse nicht aus entfernten Gegenden, wo der Wind gegen Bäume und sonstige

Erhabenheiten stöfst, durch die Luftbewegungen in den oberen Regionen fortgetragen und daher durch Täuschung in diese gesetzt wird. Inzwischen bin ich nicht geneigt, dieser letzteren Hypothese beizupflichten, denn man hört das Getöse auch im nördlichen Polarmeere, wo es doch nur etwa durch die hervorragenden Gipfel der Eisberge erzeugt werden könnte, was höchst unwahrscheinlich ist. Der erfahrene und in seinen Beobachtungen so genaue Scoresby[1] ist vielmehr der Meinung, dafs die Stürme im nördlichen Polarmeere sehr häufig zuerst in den oberen Regionen vorhanden sind und erst später bis zur Erdoberfläche herabsinken, er leitet daher hieraus das Brausen ab, welches man nicht selten vor den Stürmen in der Höhe wahrnimmt, mit dem Zusatze, dafs dieses Verhalten unter allen Breiten statt finde. Zum Beweise führt er an, dafs sein Vater einst an einem heiteren Tage an der nördlichen Spitze der Carlsinsel landete und aus Neugierde einen steilen Berg von 2000 engl. Fufs Höhe hinaufkletterte, dessen obere Spitze eine Ebene von der Gröfse einer gewöhnlichen Tischplatte bildete, die über einen lothrecht unter ihr liegenden Abgrund herüberragte. Als er sich über den herrlichen Anblick freuete, sah er in einiger Entfernung eine kleine Wolke herannahn, und wurde dann augenblicklich von einem so heftigen Sturme ergriffen, dafs er sich niederwerfen und durch die in den Schnee gesenkten Arme festhalten mufste, um nicht herabgeschleudert zu werden.

Uebrigens halte ich die Ansicht für durchaus irrig, wonach man den Wind für eine gemeinschaftlich gleichmäfsige geradlinige Bewegung der gesammten Lufttheilchen halten könnte. Die schönen Untersuchungen über die Beschaffenheit der Wasserwellen[2] haben dargethan, dafs diese aus einer eigenthümlichen rotatorischen Bewegung der einzelnen Wassertheilchen bestehn, und eben solche müssen auch den Lufttheilchen bei allen Winden nach mechanischen Gesetzen eigen seyn. Welche Ursache auch eine Luftbewegung erzeugen möge, nie wird sie mit absoluter Gleichheit, stets dagegen mehr oder weniger ungleich auf die einzelnen Massen wirken; die stärker

---

1 Account of the arctic regions cet. Edinb. 1820. II T. 8. T. I. p. 402.

2 S. oben Art. *Wellen*.

gestoſsenen Theile müssen demnach seitwärts ausweichen, und hieraus, so wie aus dem ungleichen Widerstande, welchen sie zu überwinden haben, entsteht dann nothwendig eine rotirende Bewegung, welche, einmal erzeugt und durch vielfache hinzukommende Ursachen wieder erneuert, dem Winde in seinem Fortgange stets eigenthümlich zugehört. Es versteht sich von selbst, daſs hier von einer Rotation um eine verticale oder wenig geneigte Axe, welche den Wettersäulen eigenthümlich zugehört[1], nicht die Rede sey, vielmehr bloſs von denjenigen Drehungen in willkürlichen Ebenen, die wir bei gewöhnlichen veränderlichen Winden anzunehmen veranlaſst werden. Bei sehr schwachen Luftströmungen zeigt sich allerdings eine aus der Bewegung namentlich der fliegenden Spinnengewebe im Herbste wahrnehmbare gleichmäſsige Strömung der Luft, bei stärkeren aber läſst sich von dem Umherwirbeln leichter Körper, vorzugsweise aus dem über den Schornsteinen aufsteigenden Rauche, mit Sicherheit auf die vorhandenen Luftwirbel schlieſsen, die durch hervorragende Gegenstände, insbesondere Bäume und Häuser, theils erzeugt, theils verstärkt werden. Mit Vergnügen beobachtete ich einst aus dem Fenster über einem freien Platze die Bewegung einer Flaumfeder, die in wechselnd ungleich excentrischen Kreisen bald in gröſseren bald in geringeren Höhen und mit ungleicher Geschwindigkeit mehrmals umhergetragen und endlich erst fortgeführt wurde. Bei den Untersuchungen über die Winde dürfen wir daher diese wellenartige Bewegung[2] nie aus dem Auge verlieren, die übrigens mit der Höhe abzunehmen und endlich zu verschwinden scheint, woraus hervorgeht, daſs sie vorzugsweise durch den ungleichen Stoſs beim Entstehn der Winde und noch mehr durch die Hindernisse, die der bewegten Luft entgegen stehn, erzeugt wird. Beobachtet man den aufsteigenden Nebel oder niedrig ziehende Wolken, so gewahrt man bald, daſs sie in Folge einer drehenden Bewegung ihre Gestalt ändern und mit ungleicher Geschwindigkeit sowohl aufsteigen, als auch fortschreiten; bei den feineren sehr hohen Wolken ist dieses aber nur selten der Fall, sofern man dieses in so weiter Entfernung zu beobachten vermag. Dort muſs also die wellenför-

---

1 Vergl. Art. *Wettersäule.*

2 Vergl. Forster über die Wolken. S. 204.

mige und rotatorische Bewegung der Luft geringer seyn oder gänzlich fehlen, doch erinnere ich mich zuweilen ein ungleiches, mitunter stofsweise abwechselndes Fortrücken selbst der kleinen Federwolken bemerkt zu haben.

51) Die Richtung der Winde ist inzwischen im Allgemeinen eine *horizontale*, und mufs dieses seyn, sofern sie bei längerem Fortgange über der Erdoberfläche diese annehmen müssen. Nicht minder gewifs aber ist, dafs namentlich Berge im Verhältnifs zu ihrer Höhe die Luftströmungen aufsteigen machen, wodurch dann die jenseits zunächst liegenden Orte vor den eigenthümlichen Einflüssen der Winde zum Theil geschützt werden; später aber sinkt die Bewegung der Luft wieder in die Tiefe hinab, denn sonst müfsten hohe Berge gegen die Winde, welche auf ihre Erstreckung lothrecht gerichtet sind, bis auf jede Entfernung hin schützen. Hierdurch ist indefs eine von der horizontalen abweichende geneigte Richtung der Winde unwidersprechlich gegeben. Es ist ferner oben bei der Untersuchung der Wellen bemerkt worden, dafs die Entstehung der Wasserwellen mit Grunde aus einem verticalen oder geneigten Stofse des Windes auf die Wasserfläche abgeleitet wird, und auch dieses deutet daher eine wenigstens temporär von der horizontalen abweichende Richtung der Winde an. Eine der wesentlichsten Ursachen des Entstehens der Winde wird mit Recht im Herabsinken kälterer Luftmassen und den dadurch bewirkten Niederschlägen gesucht, welche letztere die ursprüngliche Ursache der Winde noch verstärken. Ein Phänomen dieser Art hatte ich einst Gelegenheit zu beobachten. Bei mäfsigem Winde und leicht, aber völlig bedecktem Himmel sah ich in geringer Entfernung von dem Abhange eines niedrigen Berges eine schlauchartige Wolke sich ziemlich schnell in einer Neigung von etwa 50 Graden gegen den Horizont herabsenken und dann mir entgegen sich bewegen. Die Wolke war weifser und dünner, als diejenigen, welche den Himmel bedeckten, ihre Dichtigkeit ward bald vermindert und verschwand allmälig, allein nach kurzer Zeit trat ein in der Richtung ihrer anfänglichen Bewegung mich treffender merklicher Windstofs ein, welcher zunehmend heftiger wurde, sich allgemeiner ausbreitete und zuletzt einen Regenschauer herbeiführte. Es darf übrigens kaum bemerkt werden, dafs die Richtung des Windes zwar beim Entstehen und ab-

satzweise auch beim Fortgange desselben gegen den Horizont geneigt seyn könne, wegen des Einflusses der Erdoberfläche aber bald wieder in die horizontale übergehn und diese auch im Ganzen beibehalten müsse. Die partielle Erwärmung des Bodens und der über ihm ruhenden Luft bewirkt zwar ein Aufsteigen der letzteren (*courant ascendant*), wie namentlich bei der Entstehung der Passate angenommen wird, allein hieraus entsteht kein eigentlicher, über der Erdoberfläche sichtbarer Wind, obgleich ein solcher in gröfseren Höhen vielleicht wahrnehmbar seyn könnte; vertical aufsteigende Winde werden sich also nicht anders als in aufserordentlichen Fällen zeigen, wenn mächtig wirkende Ursachen sie erzeugen, wie oben (§. 14) erwähnt wurde.

52) Bei den Passaten findet ein bestimmtes Gesetz ihrer Richtung statt, indem sie in den niedern Regionen diesseit des Aequators eine nordöstliche, jenseit desselben eine südöstliche Richtung haben, welche in den höheren jene in die südwestliche, diese in die nordwestliche übergehn. Die Existenz dieser entgegengesetzten Luftströmungen ist zur Bestätigung der Theorie durch unzweifelhafte Thatsachen genügend nachgewiesen worden. Am bekanntesten ist das Beispiel des Aschenregens auf der Insel Barbadoes im Jahre 1812, welcher bei herrschendem NO.-Passate eintrat und die Bewohner in Erstaunen setzte, weil sie den Ursprung desselben nicht aufzufinden vermochten, da in dieser Richtung kein Vulcan liegt, bis sie erfuhren, dafs die Asche von den Vulcane der westlich liegenden Insel St. Vincent herbeigeführt worden sey, und auf gleiche Weise herrscht auf dem Gipfel des Pico di Teneriffa Westwind, obgleich auf der Insel selbst der Nordostpassat unausgesetzt weht[1]. Nach Paludan[2] sollen überhaupt auf den tropischen Meeren die sehr hohen feinen Wolken sich meistens in einer den Passaten entgegengesetzten Richtung bewegen. Diese durch fortwährend wirkende Ursachen bedingten Luftströmungen müssen nothwendig auf die Richtung der Winde über jede der beiden Halbkugeln einen merklichen Einflufs ausüben, wie sich in der Folge aus dem allgemeinen Dre-

---

1 L. v. Buch phys. Beschreibung d. canarischen Inseln. Berl. 1825. S. 68.

2 Schouw Klimatologie. Hft. I. S. 55.

hungsgesesetze des Windes näher ergeben wird; auch mag hierin wohl zum Theil der Grund liegen, weswegen nach Schouw[1] in Europa zwischen 50° und 60° N. B. die Westwinde, mindestens im Sommer, die vorherrschenden seyn sollen; allein es giebt für alle aufserhalb der nächsten Grenzen der Passate liegende Gegenden so viele die Windrichtungen bedingende Ursachen, dafs man die daselbst herrschenden Winde mit Recht veränderliche genannt hat. Die Grenze beider in verschiedenen Höhen entgegengesetzt wehenden Winde ist schwer anzugeben, weil geeignete Beobachtungen hierüber selten sind und es dabei sehr auf den Grad der Erwärmung der Luftmassen ankommt, wodurch sie, die ihnen eigenthümliche Richtung beibehaltend, zu gröfseren oder geringeren Höhen gehoben werden, bis sie oben wieder abfliefsen. Von den wenigen hierüber bekannten Thatsachen erwähne ich nur eine Angabe A. v. Humboldt's[2], welcher auf der Silla de Caracas unter 10° 31′ N. B. den NO.-Passat noch auf einer Höhe von 8100 F. antraf, und auf dem Pico di Teneriffa den Westwind in 11400 F. Inzwischen läfst sich hierauf keine allgemeine Regel gründen; denn die erhitzten äquatorischen Luftmassen steigen bald mehr, bald weniger hoch empor, und senken sich ebenso in ungleichen Höhen wieder herab, wie man namentlich daraus ersieht, dafs der Sirocco sich häufig in Sicilien und Italien zeigt, an diesen Orten aber meistens fehlt, wenn er als Föhn über die Alpen kommt.

53) In denjenigen Gegenden, wo die veränderlichen Winde herrschen, zunächst unter mittleren Breiten, findet man sehr häufig und fast allezeit in verschiedenen Höhen sehr ungleiche Windrichtungen, die sich unter willkürlichen Winkeln durchkreuzen, zuweilen sogar ganz entgegengesetzt sind. Schon Wargentin[3] erwähnt dieses, redet aber nur von zwei in verschiedenen Richtungen, zuweilen einander gerade entgegengesetzt, blasenden Winden, indem z. B. die Windfahnen nach Osten stehn, die Wolken aber nach Westen getrieben werden. Beobachtungen dieser Art giebt es in Menge, wodurch die Thatsache selbst genügend erwiesen ist, die jedoch durch den

1 Ny Hygäa. 1826. Apr.
2 Voyage. T. IV. p. 259.
3 Schwed. Abhandl. Deutsche Ueb. Bd. XXIV. S. 183.

Umstand ein neues Interesse erhält, dafs die Bezeichnung der Windrichtungen in den meteorologischen Registern dadurch ungewifs wird. Wargentin sagt, dafs in solchen Fällen der Stand der Windfahnen anzugeben sey; neuerdings pflegt man die Art, wie die Windrichtung gefunden wurde, vorher genau zu bezeichnen, um Mifsverständnisse zu vermeiden. Nicht eben selten gewahrt man selbst zufällig sogar drei verschiedene Windrichtungen, die eine durch den Stand der Windfahnen, die zwei anderen durch den verschiedenen Zug der ungleich hohen Wolken, und nimmt dabei als Regel an, dafs der höchste zuletzt die Oberhand und für längere Zeit die Herrschaft erhalten werde. Vorzugsweise wird die allgemeine Windrichtung durch Berge abgeändert und Kämtz[1] bemerkt daher mit Recht, dafs Beobachtungen derselben nur in Ebenen oder auf solchen Höhen, in deren naher Umgebung sich keine höhere Berge befinden, anzustellen sind, wenn man vergleichbare Resultate verlangt; aber auch dann mufs angegeben werden, ob die Bestimmungen aus der Richtung der Windfahnen oder dem Zuge der Wolken entnommen sind. Dieses ergiebt sich aus einer Vergleichung beider, welche Placidus Heinrich[2] in den Monaten Mai, Juni und Juli des Jahres 1791 anstellte. Hiernach wehete

N.	oben	9 mal,		unten	11 mal.	
NO.	—	11	—	—	12	—
O.	—	7	—	—	10	—
SO.	—	3	—	—	9	—
S.	—	5	—	—	5	—
SW.	—	15	—	—	14	—
W.	—	76	—	—	40	—
NW.	—	19	—	—	44	—

An denjenigen Orten, namentlich in Städten mit hohen Häusern und vielen Thürmen, die am Ausgange eines Thales oder am Fufse eines Berges liegen, ist die eigentliche Windrichtung aus dem Stande der Windfahnen kaum oder gar nicht mit Sicherheit bestimmbar, indem dieselben, auch ohne beschädigt zu seyn, verschieden zeigen[3]; aber auch an solchen

1 Meteorologie. Th. I. S. 161.

2 Aus Mannheimer Ephemeriden von 1791.

3 Plieninger in: Beschreibung von Stuttgart. Stuttg. 1834. gr. 4. S. 54 erwähnt ausdrücklich, dafs in jener Stadt wegen der Richtung

Orten, wo sich die genannten auffallenden Hindernisse nicht finden, gewahrt man sehr häufig in geringen und in gröfseren Höhen bedeutende Unterschiede der Windrichtungen. Einzelne sehr auffallende Beispiele dienen dieses zu bestätigen, z. B. diejenigen, welche ROBISON[1] erwähnt, mit dem Zusatze, dafs solche ungleiche Richtungen zuweilen eine geraume Zeit anhalten. Als im holländischen Kriege 1781 eine englische Flotte im Hafen zu Leith lag, herrschte ungefähr fünf Wochen lang ein scharfer Ostwind und während der letzten vierzehn Tage ein gleichfalls scharfer Westwind, in einer Höhe von etwa drei Viertel einer englischen Meile, wie man deutlich aus der Richtung der Wolken in der unteren und oberen Luftschicht wahrnehmen konnte. Ein Augenzeuge sah bei der Belagerung von Quebeck im Jahre 1759, als ein so scharfer Westwind wehete, dafs wohlbemannte Bote kaum ihm entgegenrudern konnten, eine aus der Stadt geworfene Bombe etwa eine halbe engl. Meile hoch zerplatzen und hieraus eine Rauchmasse entstehn, die über eine Viertelstunde an dem nämlichen Orte blieb und sich allmälig zerstreute. Entweder mufste daher in dieser Höhe völlige Windstille herrschen, oder nach der Ansicht ROBISON's lag diese Schicht zwischen zwei andern von gerade entgegengesetzter Windrichtung. LANGSDORF[2] beobachtete einst, dafs die unteren Segel des Schiffes schlaff zusammenfielen, während die oberen dagegen straff aufgeblasen wurden; BRUCE[3] erwähnt, dafs während der ganzen Nacht Nordostwind wehete, welcher sich gegen Morgen etwas weiter nach Ost wandte, während die oberen Wolken deutlich einen Südweststrom zeigten; ein weiteres Beispiel entgegengesetzter Windrichtungen erzählt LE MONNIER[4], ein noch interessanteres aber TH. LAUDER DICK[5]. Dieser sah den dicken Rauch von Gestrüpp, welches auf einem Hügel verbrannt wurde, in Wirbeln gerade aufsteigen, dann in der Richtung von Ost nach West fast horizontal fortgetrieben

---

des Thales, worin sie liegt, die durch den Wolkenzug angedeutete Windrichtung nur bei Stürmen oder sturmähnlichen Winden mit den Angaben der Windfahnen übereinstimmen.

1 Mechanical Philos. T. III. S. 706.

2 Dessen Reisen. Th. II. S. 189.

3 Voyages aux sources du Nil. Ueb. von CASTERA. T. XI. p. 130.

4 Mém. de l'Acad. de Par. 1782. p. 650.

5 G. LVII. 217. Aus Ann. of Phil. T. X. p. 16.

werden, bis er etliche engl. Meilen weiter durch einen Westwind spitz umgebogen wurde, sich in gerade entgegengesetzter Richtung fast eine Meile über den Ort seines Ursprungs hinaus bewegte und dann durch einen noch höher liegenden dritten Luftstrom eine südöstliche Richtung annahm. Gilbert bemerkt hierbei, dafs so scharf entgegengesetzte Luftbewegungen hauptsächlich nur an den Meeresküsten vorkommen, da er sie bei den Rauchsäulen der Salzpfannen, die jedoch keine bedeutende Höhe erreichen, nie wahrgenommen habe. Wallis[1] beobachtete zufällig, als er am 25. Oct. 1809 zu Clapton in Hacknei einen kleinen, 3 Fufs im Durchmesser haltenden Luftballon steigen liefs, die verschiedenen über einander liegenden Winde, und zwar von unten nach oben OSO., N., SW., SSO. gen S. Später liefs Forster mehr als 30mal kleine Ballons steigen und bemerkte bei den meisten derselben, dafs sie durch mehrere, selbst 4 bis 5 und einige sogar durch 7 bis 8 in verschiedenen Richtungen bewegte Schichten drangen. Als er am 30. Apr. 1831 mit seinem mit Leuchtgas gefüllten Ballon aufstieg, änderte dieser bald seine Richtung und nahm in 6000 F. Höhe eine ganz entgegengesetzte an; am folgenden Tage aber ging auch die untere Windrichtung in diejenige über, die er oben beobachtet hatte[2]. Auch Henry Beaufoy[3] gewahrte bei seiner bekannten aërostatischen Fahrt einen von der bestehenden Windrichtung abweichenden Luftstrom, welcher empfindliche Kälte herbeiführte und dem Ballon nebst der Gondel eine schiefe Richtung gab, und Green[4] folgert sogar aus den Beobachtungen, die er bei Gelegenheit seiner aërostatischen Aufsteigungen anstellte, dafs über England in einer Höhe von 10000 Fufs und darüber stets Nordwestwind herrsche, wie abweichend hiervon auch die untere Windrichtung seyn möge. Aehnliche Wirkungen auf seinen Ballon beobachtete auch Garnerin[5]; Lalande[6] liefs Probeballons bis 300 und 600 Toisen aufsteigen und bemerkte, dafs sie in Luftschichten von den verschiedensten Richtungen geriethen. Ich selbst aber

1 Forster über die Wolken. S. 205.
2 Bibl. univ. 1831. Août. p. 437. Fechner Repert. Th. III. S. 5.
3 Annals of Philos. T. IV. p. 287.
4 L'Institut 1841. 9me Ann. N. 403.
5 Voigt's Magazin. Th. I. St. IV. S. 123.
6 Aus Magazin encyclop. Ann. 8. in G. XVI. 22.

habe mehrmals kleine Luftballons steigen lassen und allezeit verschiedene, zuweilen einander entgegengesetzte Luftströmungen beobachtet; nur einmal stieg ein kleiner ellipsoidischer Ballon in unmerklich geneigter lothrechter Richtung so weit auf, bis er dem Auge entschwand, ein anderes Mal aber hatte ich das höchst interessante Schauspiel, eine 6 Fuſs im Durchmesser haltende transparente Montgolfière aus Papier, in deren unterer Oeffnung eine Lampe mit 6 Flammen brannte, bei völliger Windstille lothrecht aufsteigen zu sehn, bis sie im Zenith scheinbar unter den Sternen verschwand. Da sich zuletzt bloſs die Lampe als ein kleiner Stern zeigte, so muſste ihre Höhe mindestens 1500 Fuſs betragen, war indeſs sicher noch ungleich bedeutender. Eine solche Ruhe der Atmosphäre gehört ohne Zweifel unter die Seltenheiten und findet gewiſs nicht häufiger statt, als eine andere gleichfalls sehr ungewöhnliche Erscheinung, nämlich daſs der nämliche Luftstrom sich in zwei entgegengesetzte Zweige zerspaltet. Inzwischen giebt es eine auch hierfür entscheidende Erfahrung; denn beim Ausbruche des Cosiguia im Januar 1835 trieb der obere Wind die Asche sowohl 800 engl. Meilen östlich nach Jamaica, als auch 700 Meilen westlich, indem sie auf das Schiff Conway im stillen Ocean unter 7° N. B. und 105° W. L. niederfiel[1].

54) Ebenso verschieden, als die Windrichtung sich in ungleichen Höhen zeigt, ist sie auch in der *horizontalen Ebene*; selten und nur bei schwachen Winden steht die Windfahne längere Zeit still, vielmehr ist sie fast unausgesetzt in Bewegung und schwankt durch einen desto gröſseren Theil des Kreises, je mehr der Wind in Sturm übergeht, wobei sie nicht selten Bogen bis zu 180 Graden durchläuft. Was wir dann die Windrichtung nennen, ist so genau, wie die Messungen zulassen, die Mitte zwischen den äuſsersten Puncten beider Extreme, wohin die Windfahne sich bewegt, die zugleich auch meistens durch denjenigen Punct angegeben wird, wo dieselbe in einzelnen ruhigern Intervallen still zu stehn pflegt. Aber auch diese letztere ändert sich im Verlaufe der Zeit meistens um so mehr, je heftiger der Wind weht, Stürme wechseln bei längerer Dauer ihre Richtung, und die allerheftigsten durchlaufen nicht selten die ganze Windrose, wie dieses namentlich

1 Silliman Amer. Journ. T. XXXIII. N. 1.

auf der Insel Mauritius der Fall ist, die sich durch die Heftigkeit der Winde vorzugsweise auszeichnet[1]. Mehrere Beispiele solcher auffallender Drehungen bei Stürmen werden bei der Beschreibung vorzüglich heftiger Stürme (Abschn. E.) gelegentlich erwähnt werden.

Zu den seltenern Erscheinungen gehört die, daſs entgegengesetzte Winde einander begegnen und sich dadurch wechselseitig aufheben; inzwischen sind diese Phänomene nicht in einem solchen Grade selten, daſs ihre Existenz überhaupt zweifelhaft seyn könnte. Es ist bereits oben (§. 32) erwähnt worden, daſs der Föhn gegen den Nordwind ankämpft, bis einer von ihnen die Oberhand behält, sowie auch, daſs die von groſsen Eismassen herkommenden Winde die ihnen entgegenwehenden zurückdrängen (§. 27). Ein wegen der Seltenheit interessantes Beispiel aber erzählt Kotzebue[2]. Dieser traf nämlich unter 40° N. B. in der Nähe von Californien einen anhaltenden Südwind, welchem jedoch plötzlich ein Nordwind entgegen wehte, was sowohl aus dem Zuge der Wolken, als auch aus ihrer Veränderung zu ersehn war. Zwischen beiden Winden war die See in 50 Faden Breite und unabsehbarer Länge von O. nach W. vollkommen ruhig und spiegelglatt; der stärkere Nordwind trieb indeſs den schwächeren Südwind vor sich her, und im gleichen Maſse, als der erstere hiernach weiter vorrückte, schritt auch die zwischen beiden befindliche neutrale Stelle fort.

55) Als eine Hauptfrage bei der Untersuchung der Windrichtungen wurde von jeher die betrachtet, ob dieselbe *positiv* oder *negativ* sey, d. h. ob der Wind sich früher an dem Orte zeige, woher er kommt, oder an dem, wohin er weht, also z. B. ob ein Ostwind früher in Osten oder in Westen wahrgenommen werde. Einer allgemeinen Ansicht gemäſs ist man geneigt, das Erstere anzunehmen, denn es scheint in der Natur der Sache zu liegen, daſs die Luftmassen, die an einem gewissen Orte anlangen, früher an demjenigen in Bewegung waren, von wo sie herkommen. Wie nothwendig dieses im Ganzen auch seyn mag, so ist doch von der andern Seite gleichfalls leicht vorstellbar, daſs herbeiströmende Luftmassen den hinter ihnen

---

1 Flinder's Reise nach d. Austral. Lande. Weim. 1816. S. 685.

2 Neue Reise um die Welt. Weim. 1830. Th. II. S. 40.

befindlichen Platz machen, diese in den verdünnten Raum eindringen und die Bewegung sich auf diese Weise rückwärts fortpflanzt, wonach also die Windrichtung eine *negative* seyn würde. Inzwischen muſs hierbei allezeit zuerst ein verdünnter Raum vorhanden seyn, in welchen die ruhige Luft abflieſst, und um diesen aufzufinden, hilft uns wieder die allgemeine Theorie vom Ursprunge der Winde. Entweder durch örtliche Erwärmungen entsteht ein Aufsteigen der leichteren Luft und hieraus ein verdünnterer Raum, oder dieser wird durch Abkühlung und Niederschläge erzeugt; in diesen dringen die umgebenden Luftmassen von allen Seiten, wegen örtlicher Hindernisse aber nicht mit ganz gleicher Stärke, und es wird also derjenige anfänglich stets negative Wind die Herrschaft erlangen, welcher am wenigsten gehindert durch gröſsere erlangte Geschwindigkeit am kräftigsten einwirkt. Dieser Proceſs deutet auf eine negative Windrichtung, und da er nicht zu den ungewöhnlichen gehört, so läſst sich hiernach vermuthen, daſs die negativen Winde ziemlich häufig seyn werden. Die einmal in Bewegung befindlichen Luftmassen können indeſs in dem von ihnen eingenommenen Raume schon wegen des Trägheitsgesetzes nicht sofort zur Ruhe kommen und müssen daher aufsteigen, was häufig der Fall ist, zugleich aber kann der statt findende Impuls auch die ruhenden Luftmassen in Bewegung setzen, und diese Bewegung, sobald sie sich auf gröſsere Strecken fortpflanzt, muſs nothwendig positive Windrichtungen zur Folge haben. Man ersieht hieraus, daſs es sowohl positive, als auch negative Winde (oder Windrichtungen in diesem Sinne) geben könne.

56) So viel ich weiſs, hat zuerst Leche[1] auf den hier vorliegenden Gegenstand aufmerksam gemacht, indem er bei der Mittheilung seiner Beobachtungen der Winde zu Åbo von 1750 bis 1761 bemerkte, das Barometer könne fallen, ohne daſs Wind wahrgenommen werde, der in entfernten Gegenden statt findend nicht bis an diesen Ort gelange; denn er habe z. B. gefunden, daſs Weststurm sich früher in Moscau als in Åbo und eher in Finnland, als in Schweden zeige. Allgemeiner bekannt wurden die Resultate der Beobachtungen B. Franklin's[2],

1 Schwedische Abhandl. Deutsche Ueb. Th. XXIV. S. 195.
2 Letters and papers on philos. subj. Lett. 36. Sämmtliche Werke

welcher einst wahrnahm, dafs ein heftiger Wind aus NO. um 7 Uhr Abends in Philadelphia und erst um 11 Uhr in dem 400 engl. Meilen entfernten Boston wehte. Später achtete er mehr auf diesen Umstand und fand, dafs die Nordost-Stürme desto später an verschiedenen Orten anfingen, je entfernter diese in der genannten Richtung lagen. Zur Erläuterung führte er an, dafs beim Anzünden des Feuers in einem Camine die zunächst liegenden Luftmassen hineinströmen und dann diese Bewegung sich den entfernteren allmälig mittheilen müsse. Hiernach leitet er die im Winter dort häufigen Nordost-Stürme aus der Erwärmung der Luft über dem mexicanischen Meerbusen ab, wohin sich die kältere Luft von NO. allmälig hinbegebe. Kämtz[1] erinnert hiergegen, dafs zwischen Philadelphia und dem mexicanischen Meerbusen eine ausgedehnte Länderstrecke liege, wo es an Beobachtungen fehle, und da sich diese NO.-Stürme auch häufig auf dem mexicanischen Meerbusen zeigen, so schliefst er hieraus mit Recht auf eine positive Fortschreitung derselben, weil die nordöstlichen Luftmassen erst später daselbst anlangen können. Auf Franklin's Autorität gestützt, hielt man sehr allgemein die Fortschreitung der Winde für negativ. Zwei hierüber sehr entscheidende Beispiele hat Mitchil[2] bekannt gemacht, das eine vom 21. Febr. 1802, das andere vom December 1811, wo beide Male der Nordost-Sturm an den nördlicher liegenden Orten später empfunden wurde, wie sich aus den aufgezeichneten Anfängen desselben ergiebt. Im ersten Falle waren:

Orte	Nördl. Breite		Anfang d. Sturms
Charlstown	34°	45′	2 Uhr Nachm.
Washington	38	55	5 — —
Newyork	40	40	10 — —
Albany	44	0	7 — Morgens

übers. von Wenzel. Dresd. 1780. 8. Th. II. S. 104. Vergl. Silliman's Amer. Journ. T. XXXV. p. 277.

1 Meteorologie. Th. I. S. 215.

2 Transactions of the phil. Soc. of New-York. T. I. Ann. de Chim. et Phys. T. IX. p. 66.

im zweiten Falle:

Orte	Nördl. Breite	Anfang d. Sturms
Cap Hatteras . . .	35° 15′ . . .	8 Uhr Abends
Washington . . .	38 55 . . .	10 — —
Newyork	40 40 . . .	10 — —
Lyme	— — . . .	2 — Morgens
Boston	42 22 . . .	4 — —

Nach Brandes[1] müfste sich aus dem allmäligen Fortrücken des Fallens der Barometer an entfernten Orten auf das Fortschreiten des Windes in dieser Richtung schliefsen lassen; wir besitzen aber, wie er meint, keine genügende Menge genauer Beobachtungen, um hierüber zu entscheiden. Aufserdem aber ist dieses Mittel wegen der ungleichen Strömungen in verschiedenen Höhen oft trüglich, denn Brandes bemerkt selbst, dafs ein mit höherem Barometerstande in den nördlichen und östlichen Gegenden verbundener Nord- oder Ostwind oft hier und da hervorbricht, ehe er allgemein wird, so dafs an einem und dem andern Orte noch durch örtliche Einflüsse ein entgegengesetzter Wind sich erhält, während andere dazwischenliegende Orte schon den dem Uebergewichte des Druckes gemäfsen Wind erhielten. Das hier Gesagte findet volle Bestätigung durch die oben (§. 48) mitgetheilten gleichzeitigen, sehr von einander abweichenden Windrichtungen an verschiedenen mehr oder weniger entfernten Orten, woraus hervorgeht, dafs die Windrichtung, wie sie auch fortschreiten mag, sehr leicht eine Modification und selbst eine völlige Umkehrung erleiden könne, wenn sie irgend eine andere bereits bestehende trifft.

57) Brandes[2] war nach früheren Erfahrungen nicht abgeneigt, der Franklin'schen Hypothese gemäfs ein negatives Fortschreiten der Windrichtung anzunehmen, einmal beobachtete er indefs sehr auffallend das Gegentheil[3]. Ein schwacher Westwind wandte sich bald mehr nach Südwest, bald mehr nach Nordwest, als ein viel stärkerer, obgleich nicht absolut starker, aus Nordost eintrat, welcher dann dauernd die Herrschaft erlangte. Zugleich waren zwei in etwa 1,5 Meilen Entfernung

1 Witterungskunde. S. 382.
2 G. XXXI. 438.
3 Witterungskunde. S. 383.

südwestlich liegende Windmühlen für westlichen Wind gerichtet, nach 35 Minuten aber fing man an, dieselben zu drehen, und nach 45 Minuten entschieden nach Nordost, so daſs dann dieser Wind auch dort der herrschende seyn muſste. Aehnliche Beobachtungen anzustellen hatte ich früher günstige Gelegenheit. Auf einem viel besuchten Vergnügungsorte bei Hannover konnte man mehrere in verschiedenen Richtungen liegende Windmühlen übersehn und aus dem Stellen derselben beim Wechsel der Windrichtungen auf die Zeit schlieſsen, wann derselbe eintrat. In den meisten Fällen war hierbei das Fortschreiten des Windes ein negatives, zuweilen aber ein positives. Auch Kämtz [1] ist der Meinung, daſs sich über die hier vorliegende Frage gar nichts Allgemeines bestimmen lasse. Er findet es durchaus nicht unwahrscheinlich, daſs der Wind an irgend einem Orte beginne, den man der Einfachheit wegen in der Mitte der Region, in der er sich zeigt, annehmen dürfe, und daſs er sich von hier aus rückwärts und vorwärts verbreite. Es zeigt sich dieses namentlich beim Land- und Seewinde, indem letzterer sich zuerst nur an der Küste erhebt, nach mehreren Stunden aber vorwärts ins Land und rückwärts in die See gedrungen ist.

58) In den neuesten Zeiten ist diese Frage durch eine Menge neu hinzugekommener Erfahrungen und festere Begründung der Theorie genügend beantwortet worden. Wenn durch local wirkende Ursachen partielle Winde erzeugt werden, so ist ihre Richtung zugleich durch diese bedingt. Findet also an irgend einem Orte eine schnell zunehmende starke Erwärmung statt und wird hierdurch ein aufsteigender Luftstrom erzeugt, so müſsten bei herrschender Windstille in diesen verdünnten Raum die Luftmassen von allen Seiten hereinströmen und die hierdurch entstehenden Winde wären negativ, so wie umgekehrt positiv, wenn eine verticale Luftsäule bedeutend abgekühlt würde und dann als schwerer die leichteren angrenzenden vor sich her triebe. Allein die hierbei angenommene völlige Windstille findet kaum je statt, bei weitem in den meisten Fällen dagegen ist schon eine Bewegung der Luft vorhanden, durch welche dann die neu entstehende Richtung bedingt und modificirt wird, abgesehn davon, daſs selten eine Gegend hinlänglich

1 Meteorologie. Th. I. S. 214.

eben ist, um von allen Seiten her das Eindringen der kalten Luft in den erwärmten Raum oder das Abfliefsen der abgekühlten Masse nach allen Richtungen hin ganz gleichmäfsig zu gestatten. Inzwischen können unter geeigneten Umständen füglich negative Winde entstehn, im Ganzen aber haben wir die Richtung derselben als positiv zu betrachten, wie sich später aus der Beschreibung einiger ausgezeichneter Stürme näher ergeben wird. Die Erfahrungen, auf welche die älteren Physiker, zu denen namentlich auch Franklin gehört, sich stützten, würden die einander scheinbar widersprechenden Resultate nicht gegeben haben, wenn man dabei den Umstand nicht übersehn hätte, dafs die Luftbewegung bei den Winden wohl niemals eine geradlinige ist, wie man annahm, sondern vielmehr eine drehende in engeren und weiteren Kreisen, woraus dann zugleich die Umkehrung der Windrichtung, namentlich bei heftigen Stürmen, sehr leicht erklärlich wird, sofern den nämlichen Ort zuerst die eine und später die entgegengesetzte Seite des fortschreitenden Wirbels trifft. Dabei ist noch zu berücksichtigen, dafs in Gemäfsheit dieser drehenden Bewegung der Luftmassen die äufseren Theile das Bestreben erhalten müssen, sich weiter vom Mittelpuncte zu entfernen, was dann zugleich ein Sinken des Barometers herbeiführt oder dasselbe unterstützt, wenn von der andern Seite die bewegten Luftmassen ihre einmal angenommene Geschwindigkeit beibehalten, sich nach den bekannten Versuchen von Clement[1] dadurch ausdehnen und ein Eindringen der umgebenden in den verdünnten Raum veranlassen. Aus diesen vereinten, zum Theil entgegengesetzt wirkenden Ursachen wird die so ausnehmend unstete und bedeutend wechselnde Richtung der Windfahnen, das unaufhörliche Schwanken derselben, wie nicht minder der veränderliche Barometerstand leicht erklärbar. Namentlich bei Gewitterstürmen nimmt der diesen zugehörige Wind sehr häufig eine entgegengesetzte Richtung an, als welche er vorher hatte, und ändert sie während ihrer Dauer, das Barometer aber pflegt in der Regel unmittelbar vor ihrem Ausbruche zu steigen, im Verlaufe derselben abwechselnd zu sinken und zu steigen, nach ihrem Vorübergange aber einen höheren oder niedrigern Stand anzunehmen, als es vorher hatte, je nach der Beschaffenheit der

1 S. Art. *Pneumatik*. Bd. VI. S. 679.

dann die Oberhand erlangenden Windrichtung. Um hier sogleich einige, auf diese drehende Bewegung der im Allgemeinen geradlinig oder selbst in Curven fortschreitenden Winde bezügliche Erfahrungen namhaft zu machen, wovon weiter unten ausführlicher die Rede seyn wird, erwähne ich nur eine Bemerkung von BRANDES[1], wonach man an der Nordsee diejenigen Stürme für die gefährlichsten und die gröfsten Fluthen erregend hält, die in West anfangen und sich dann nach Nordwest wenden. Auf gleiche Weise erzählt ARESZ nach seinen Beobachtungen an Norwegens Küsten, dafs der Westwind, welcher die dortigen Wintergewitter bringt, meistens nach Nordwest herumläuft und dann an Stärke und Dauer zunimmt. Was in früheren Zeiten höchst auffallend und eigentlich ganz unerklärlich schien, geht ganz einfach aus dieser rotatorischen Luftbewegung hervor, ja es folgt aus ihr fast nothwendig, nämlich dafs der Wind an verhältnifsmäfsig nicht weit von einander entfernten Orten verschiedene und sogar einander direct entgegengesetzte Richtungen hat. So erwähnt HENRY FORTH[2] einen Sturm im Jahre 1835, welcher im südlichen Theile Englands südlich war, während gleichzeitig zu Darlington unweit Durham Nordostwind wehte. Am meisten, hauptsächlich aber nur in Deutschland, wurde die Nachricht von dem Sturme im December 1791 beachtet, welchen LAMPADIUS[3] beschrieben hat. Dieser tobte hauptsächlich zu Spandau, welchen Ort man als seinen Mittelpunct betrachtete, wonach dann die Luft von allen Seiten in diesen einströmend angenommen wurde, indem gleichzeitig zu Göttingen Südwest, zu Königsberg aber Nordostwind herrschte. Allein dieses geht keineswegs genügend aus den gesammten darüber gemachten Erfahrungen hervor, vielmehr mufs man in Gemäfsheit zahlreicher später bekannt gewordener Thatsachen annehmen, dafs auch bei diesem, wie bei allen bedeutenden Stürmen, die verschiedenen Windrichtungen eine Folge der sie hauptsächlich erzeugenden wirbelnden Bewegung waren, wie weiter unten ausführlich gezeigt werden soll.

59) Durch örtliche Bedingungen erzeugte partielle Winde, deren Entstehungsart oben für einzelne Fälle näher nachge-

1 Beiträge zur Witterungslehre. S. 377.
2 Philos. Trans. abridged. T. VIII. p. 78.
3 Atmosphärologie. S. 192.

wiesen worden ist, erstrecken sich nie über ausgedehnte Districte, sie nehmen vielmehr in ihrem Fortschreiten schnell ab und verlieren sich bald in der gleichzeitig herrschenden allgemeinen Luftströmung. Stürme verbreiten sich in der Regel über ausgedehntere Länderstrecken, jedoch keineswegs in einem solchen Umfange, als man nach ihrer Heftigkeit annehmen müfste, wenn man sie für eine geradlinig fortschreitende Luftbewegung halten wollte, was dann abermals für eine drehende Bewegung derselben entscheidet. Selbst die Typhons im chinesischen Meere und die Tornados an der Westküste Africa's und mehrere andere, später zu erwähnende Stürme sind ihrer furchtbaren Gewalt ungeachtet nicht weit verbreitet, mehr dagegen die Hurricane der Antillen, wenn sie sich im Fortgange umdrehen und dann die südlich liegenden nordamericanischen Staaten treffen. Auch die SW.-, W.- und NW.-Stürme, welche vom atlantischen Ocean ausgehend über das westliche Europa bis zum östlichen fortschreiten und mit den genannten Hurricanen mindestens zuweilen wohl zusammenhängen dürften, haben eine nicht geringe Ausdehnung, wie die Südstürme, die als Sirocco von Africa ausgehend über Italien hin zum Föhn in der Schweiz übergehn. Unter allen Winden haben daher die Passate auf den grofsen Oceanen aus leicht begreiflichen Gründen die weiteste Erstreckung, doch scheinen ausnahmsweise auch Stürme eine ganz unglaublich weite Verbreitung zu erlangen. Als auffallendstes Beispiel kann dasjenige dienen, was Kotzebue[1] erwähnt, wonach der Sturm, welcher am 9. Oct. 1824 zu Petersburg wüthete, an dem nämlichen Tage und fast zu derselben Stunde zu San Francisco bei Californien, auf den Sandwich-Inseln, auf den Philippinen und auf Manilla grofse Verheerungen anrichtete. Mit der hierdurch angedeuteten Mischung warmer und kalter Luftmassen mögen wohl die denkwürdigen heftigen Regen zusammenhängen, welche bald nachher die grofsen Ueberschwemmungen in Deutschland anrichteten.

60) Wird die Windrichtung auf irgend eine zweckmäfsige Weise[2] gefunden, so bezeichnet man sie bekanntlich nach derjenigen Himmelsgegend, woher der Wind weht. Zuweilen wählt man hierzu örtliche Bezeichnungen, z. B. Bore, Sirocco u. s. w.

1 Neue Reise um die Welt. Th. II. S. 74.

2 Vergl. Art. *Windmesser*.

in Triest und an andern Orten Italiens, weit richtiger und allgemeiner aber wählt man die Weltgegenden, und zwar meistens 8 oder 16, selten 4, noch seltener 32, am zweckmäſsigsten würde es nach Kämtz seyn, in Folge allgemeiner Uebereinkunft den Horizont in 16 Theile zu theilen und diese bei der allgemeinen Bezeichnung der Resultate entweder beizubehalten oder auf 8 zu reduciren[1]. Wenn indeſs den Beobachtern solche Windfahnen nicht zu Gebote stehn, deren Zeiger in das Zimmer herabgehn und sich daselbst über oder unter einer getheilten Scheibe bewegen, so wird es schwer, wo nicht unmöglich, bei den nothwendig hoch stehenden und meistens entfernten Windfahnen Sechzehntel des Kreises zu unterscheiden, und selbst bei den genannten Vorrichtungen ist dieses wegen der bedeutenden Schwankungen bei stärkeren Winden nicht leicht, weswegen es mir am angemessensten scheint, sich auf 8 Windrichtungen zu beschränken. Wählt man bloſs die 4 sogenannten Cardinalpuncte, so findet keine Verschiedenheit der Bezeichnungen statt, wählt man aber zugleich die zwischenliegenden, so ist zu bemerken, daſs die beiden dem Meridiane zugehörigen Puncte den Vorrang bei der Bezeichnung haben und also vorangehn, man also nicht OS., sondern SO. und ebenso nicht WN., sondern NW. sagt. Dehnt man die Bezeichnung auf die 8 zwischenliegenden Richtungen aus, so ist zu bemerken, daſs dann der zunächst liegende Cardinalpunct vorangeht. Hiernach hat man, von Süden anfangend, folgende 16 Winde: S., SSW., SW., WSW., W..... S., SSO., SO., OSO., O..... N., NNW., NW., WNW., W..... N., NNO., NO., ONO., O...., wenn man zur bequemeren Uebersicht die vier Cardinalwinde doppelt zählt. Findet man in den Registern wirklich 16 Windrichtungen aufgezeichnet, so werden diese mit der gewöhnlichen Bezeichnungsart übereinstimmend gemacht

1 Die lateinischen Namen der Winde sind keineswegs so scharf bestimmt, als man dieses neuerdings durch die Bezeichnung nach den Weltgegenden zu erreichen vermochte. Folgende Namen dürften am nächsten kommen: N. Boreas oder Abarctias, NNO. Supernas, NO. Aquilo oder Caecias, ONO. Carbas, O. Solanus, OSO. Phoenicias, SO. Eurus, SSO. Euronotus, S. Notus oder Auster, SSW. Austroafricus oder Libonotus, SW. Africus, WSW. gleichfalls Africus, W. Favonius, WNW. Gallicus, NW. Caurus, NNW. Corus. Die beiden letzteren sind eigentlich dieselben, und überhaupt werden die Zwischenwinde nicht genau unterschieden.

und auf 8 dadurch reducirt, dafs man die zwischenliegenden halbirt. Wären z. B. 26 N., 20 NNO., 17 NO., 10 ONO. aufgezeichnet, so gäbe die Reduction 26 + 10 = 36 N und 17 + 10 + 5 = 32 NO., weil die Hälfte der 10 ONO. zu O. zu rechnen sind, mithin nur 5 für NO. übrig bleiben[1].

61) Will man Resultate über die Windverhältnisse im Allgemeinen haben, so sind hierzu gleichzeitige, an mehr oder minder weit von einander abstehenden Orten angestellte Beobachtungen erforderlich, jenachdem die Aufgabe ist, über die man Aufklärung verlangt; wünscht man aber die Windverhältnisse eines gegebenen Ortes zu kennen, so würde auf gleiche Weise, als dieses bei der Temperatur der Fall ist, erforderlich seyn, die einzeln wehenden Winde und die Zeit ihrer Dauer aufzuzeichnen und aus der Summe der hierdurch gegebenen Producte die mehr oder weniger herrschenden Winde zu entnehmen[2]. Diese Methode findet aber in dem unerschwinglichen Aufwande der hierfür erforderlichen Zeit ein für die Praxis unüberwindliches Hindernifs, zumal da diese Beobachtungen eine sehr geraume Zeit fortgesetzt werden müfsten, weil die Windrichtungen nach den Jahreszeiten und selbst in verschiedenen Jahren sehr ungleich sind. Aufserdem würde man vielleicht einen, wenn auch nicht bedeutenden Unterschied wahrnehmen, wenn man die blofs bei Nacht und die blofs am Tage angestellten Beobachtungen vergleichen wollte, doch dürfte dieses vorzugsweise nur an solchen Orten der Fall seyn, wo örtliche Winde wehn, namentlich an Küsten und auf Inseln. Sofern aber diese letzteren als Ausnahmen besonders berücksichtigt zu werden pflegen, begnügt man sich mit mehrmaligen Aufzeichnungen am Tage, wobei das mittlere Resultat die einzelnen Abweichungen um so mehr ausgleicht, je längere Zeit hindurch die Beobachtungen angestellt worden sind. Aus diesen pflegten die älteren Meteorologen nur denjenigen Wind als den herrschenden zu bezeichnen, welcher am häufigsten weht, die neueren aber haben eine schärfere Bezeichnung eingeführt. Dieses Verfahren nebst der für dasselbe geeigneten Formel

1 Vergl. Kämtz Meteorologie. Th. I. S. 153.

2 Auf diese Weise sind die Beobachtungen angestellt worden, welche Ross bei seinem Aufenthalte zu Felix Harbour veranlafste, wovon weiter unten die Rede seyn wird.

hat Lambert[1] bereits im Jahre 1777 angegeben, die Sache blieb aber unbeachtet, bis man neuerdings wieder darauf zurückgekommen ist, indem man sich jetzt allgemein der sogenannten *Lambert'schen Formel* oder *Lambert'schen Methode* bedient, was hauptsächlich durch Cesaris[2], Dove[3], Kämtz[4], Schübler[5], Otto Eisenlohr[6] und Andere geschehn ist. Man betrachtet hiernach die in verschiedenen Richtungen wehenden Winde als Erzeugnisse der die Luft bewegenden Kräfte, und sucht auf gleiche Weise die Diagonale, als dieses bei zusammenwirkenden Kräften geschieht, wonach also die auf diese Weise gefundene Resultirende als diejenige Kraft anzusehn ist, welche aus den einzelnen entnommen die gesammte Luftmasse in der gegebenen Richtung bewegt haben würde[7]. Es kommt hierbei erleichternd zu statten, daſs die Richtungen der Winde in Beziehung auf den Meridian durch die Beobachtungen gegeben sind und nach beiden Seiten von den Cardinalpuncten um gleiche Winkel abstehn. Nehmen wir also den Mittelpunct der Windrose und wählen wir die Messung von N. durch O. nach S. und W. durch den ganzen Kreis bis 360 Grade, so sind für die positiv genommene östliche Richtung bei 8 Winden

$$\text{O.} + (\text{NO.} + \text{SO.}) \operatorname{Sin.} 45^\circ$$

zusammenwirkend, dagegen

$$\text{W.} + (\text{NW.} + \text{SW.}) \operatorname{Sin.} 45^\circ$$

entgegenwirkend. Auf gleiche Weise erhält man

$$\text{N.} + (\text{NO.} + \text{NW.}) \operatorname{Cos.} 45^\circ \text{ und } \text{S.} + (\text{SO.} + \text{SW.}) \operatorname{Cos.} 45^\circ.$$

Nehmen wir diese zusammen, nennen wir ihre Summen A und B und suchen wir das Verhältniſs beider, so ist die Resultirende aller dieser Kräfte

$$A = \text{O.} - \text{W.} + (\text{NO.} + \text{SO.} - \text{NW.} - \text{SW.}) \operatorname{Sin.} 45^\circ,$$
$$B = \text{N.} - \text{S.} + (\text{NO.} + \text{NW.} - \text{SO.} - \text{SW.}) \operatorname{Cos.} 45^\circ$$

---

1 Nouveaux Mém. de Berlin pour 1777. p. 26.

2 Mem. della Soc. Ital. T. XVIII. p. 26.

3 Poggendorff's Ann. XIII. 593 u. a. a. O.

4 Dessen Meteorologie u. a. a. O.

5 Schweigger's Journ. LV. 130.

6 Untersuchungen über den Einfluſs d. Windes u. s. w. S. 5.

7 Vergleiche die Einwendungen, welche Schouw in Poggendorff's Ann. XIV. 555 gegen diese Methode macht.

und demnach

$$\frac{A = O. - W. + (NO. + SO. - NW - SW.)\,\text{Sin. } 45^\circ}{B = N. - S. + (NO. + NW. - SO. - SW.)\,\text{Cos. } 45^\circ} = \text{Tang. } \varphi,$$

wenn φ die mittlere Windrichtung bezeichnet. Für 16 Windrichtungen würden wir auf gleiche Weise haben

$$\begin{aligned} A = O. - W. &+ (NNO. + SSO. - NNW. - SSW)\,\text{Sin. } 22^\circ\,30' \\ &+ (NO. + SO. - NW. - SW.)\,\text{Sin. } 45^\circ \\ &+ (ONO. + OSO. - WNW. - WSW.)\,\text{Sin. } 67^\circ\,30', \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B = N. - S. &+ (NNO. + NNW. - SSW. - SSO.)\,\text{Cos. } 22^\circ\,30' \\ &+ (NO. + SO. - NW. - SW.)\,\text{Cos. } 45^\circ \\ &+ (ONO. + WNW. - OSO. - WSW.)\,\text{Cos. } 67^\circ\,30'. \end{aligned}$$

Zur Bestimmung der Gröfse der Kräfte dient die Zahl, wie oft während einer beliebigen Zeit die einzelnen Winde geweht haben, woraus dann noch obendrein der Vortheil hervorgeht, dafs die Windrichtungen verschiedener Orte mit Leichtigkeit vergleichbar werden, wenn gleich die Beobachtungen ungleich lange Zeiträume umfassen. Um die Anwendung dieser Formel durch ein Beispiel zu zeigen, diene Folgendes. Es sey die Gesammtzahl der beobachteten Winde = 100 und diese seyen nach den acht Richtungen auf folgende Weise vertheilt:

N.;	NO.;	O.;	SO.;	S.;	SW.;	W.;	NW.
7;	8;	13;	13;	12;	19;	18;	10.

Diese Zahlen in der Formel substituirt geben:

$$\frac{13 - 18 + (8 + 13 - 10 - 19)\,\text{Sin. } 45^\circ}{7 - 12 + (8 + 10 - 13 - 19)\,\text{Cos. } 45^\circ}$$

$$= \frac{-5 - 8 \times 0{,}7071}{-5 - 14 \times 0{,}7071} = \frac{-5 - 5{,}6568}{-5 - 9{,}8994}$$

$$= \frac{-10{,}6568}{-14{,}8994} = 0{,}715 = \text{Tang. } 35^\circ\,35'.$$

Ist A und B positiv, also auch Tang. φ positiv, so liegt die Windrichtung zwischen N. und O.; sind beide negativ, so fällt sie zwischen S. und W.; ist A positiv und B negativ, also die Tangente negativ, so liegt sie zwischen O. und S.; ist aber endlich A negativ und B positiv, so fällt sie zwischen N. und W. Im gegebenen Beispiele ist also die mittlere Windrichtung S. 35° 35′ W. oder sie liegt 54° 25′ südlich von West. Soll nicht blofs die mittlere Richtung der Winde, son-

dern auch die Stärke der Resultirenden bestimmt werden, so ist diese, wie bei zusammengesetzten Kräften,

$$\sqrt{(A^2 + B^2)},$$

also im vorliegenden Falle = 19,56; d. h. wenn man die Zahl aller Winde durch 1000 bezeichnete, so würden 195,6 derselben die Richtung S. 35° 35′ haben oder 54° 25′ südlich von West wehn.

62) Um die Zahl der einzelnen beobachteten Winde leichter zu übersehn, pflegt man auch wohl die Gesammtmenge derselben als Einheit zu betrachten und die einzelnen als aliquote Theile durch Decimalbrüche auszudrücken, welches gleichfalls den bereits erwähnten Vortheil gewährt, daſs danach die Windrichtungen an verschiedenen Orten ungeachtet der ungleich langen Zeit, welche die Beobachtungen umfassen, vergleichbar werden. So entnahm Schouw[1] aus den funfzigjährigen Beobachtungsregistern zu Kopenhagen im Ganzen 56050, halbirte die zwischen den 8 Puncten liegenden, setzte sie den nächstliegenden hinzu (wodurch die viermal vorkommenden Hälften entstanden), und erhielt hiernach folgende Gröſsen:

N.	4910	0,088
NO.	4861,5	0,087
O.	6607,5	0,118
SO.	5918,5	0,106
S.	7051	0,125
SW.	9361	0,167
W.	10448	0,186
NW.	6892,5	0,123

62) Bei der Bestimmung der resultirenden oder mittleren Windrichtung wird es sich in der Regel treffen, daſs dieselbe keiner der beobachteten Windrichtungen genau zugehört. Kämtz[2] hält es daher für angemessen, nach dem von Schouw[3] eingeführten Verfahren *das Verhältniſs der östlichen zu den westlichen, der nördlichen zu den südlichen* durch Zahlen auszudrücken und dieses neben der mittleren Windrichtung für die einzelnen Orte zugleich anzugeben, wobei sich von

1 Beiträge zur vergleichenden Klimatologie. S. 9.
2 Meteorologie Th. I. S. 166.
3 Beiträge. S. 10.

selbst versteht, dafs die Hälften der nordöstlichen und südöstlichen zu den östlichen, der nordöstlichen und nordwestlichen aber zu den nördlichen gezählt werden. Hiernach ist also für Kopenhagen das Verhältnifs der

östlichen zu den westlichen = 1 : 1,5,
nördlichen zu den südlichen = 1 : 1,3.

63) Bei der Untersuchung der Windrichtungen entsteht die Frage, ob die *Tagszeiten* einen Einflufs auf dieselben äufsern. Für diejenigen Orte, welche den Meeresküsten nahe liegen, wo also Land- und Seewinde wechseln, oder auch für solche, wo durch die Erwärmung am Tage und Abkühlung der Nacht erzeugte örtliche Luftströmungen herrschen, ist die Sache wohl nicht zweifelhaft, und die Frage kann sich daher nur auf diejenigen Gegenden beziehn, wo solche Einflüsse nicht ohnehin merkbar sind oder erst durch die Untersuchung der Windrichtungen aufgefunden werden sollen. Schouw[1] zieht die Sache für mittlere und höhere Breiten in Zweifel, weil das Klima keinen Grund hierzu abgebe. Um dieses zu beweisen, stellt er vierjährige im Juli zu Kopenhagen angestellte Beobachtungen zusammen, woraus sich ergiebt:

Vormittag . . .	Richtung	S. 49° 35′ W.	Stärke	0,315,
Nachmittag . . .	—	S. 54 36 W.	—	0,360,
Vormitternacht . .	—	S. 63 57 W.	—	0,367,
Nachmitternacht .	—	S. 58 1 W.	—	0,364.

Allerdings zeigen sich hier nicht sehr bedeutende Unterschiede, inzwischen bemerkt Kämtz[2], welcher nicht blofs die Zahl der Winde angeführt, sondern auch die mittleren Richtungen nach Lambert's Formel berechnet hat, dafs die Windrichtung allerdings eine Neigung zeigt, am Tage von S. nach W. fortzuschreiten, während der Nacht aber wieder zurückzukehren. Der Unterschied, welcher im angegebenen Falle nur 14° erreicht, wird nach seinen Untersuchungen bedeutender, wenn die mittlere Stärke der Winde geringer ist, so dafs dann die mittleren Windrichtungen mitunter sogar einander entgegengesetzt werden. Zum Beweise dienen ihm zehnjährige Beobachtungen

1 Beiträge. S. 7.
2 Meteorologie. Th. I. S. 216.

von NICANDER[1] zu Stockholm, welche folgende Gröfsen geben:

7^h Morgens;	Richtung	S. 89° 48′ W.;	Stärke	0,165,
2 Abends;	—	N. 85 4 W.;	—	0,153,
9 Abends;	—	S. 50 54 W.;	—	0,100

und zwölfjährige von HEMMER[2] zu Mannheim, woraus folgt:

7^h Morgens;	Richtung	N. 24° 5′ O;	Stärke	0,027,
2 Abends;	—	S. 74 32 W.;	—	0,134,
9 Abends;	—	S. 36 4 W.;	—	0,010.

Ob hierbei die See bei Stockholm und der Rhein bei Mannheim einen Einflufs äufsern, ist schwer zu entscheiden; inzwischen folgert KÄMTZ, dafs die Tagszeiten auch auf die Winde, wie auf sonstige meteorische Erscheinungen, einen Einflufs ausüben, der sich indefs wegen Mangels an hinlänglich zahlreichen und genauen Beobachtungen noch nicht mit Sicherheit ermitteln läfst.

64) Man wird hiernach schon in voraus vermuthen, dafs es auch *monatliche Verschiedenheiten* der Windrichtungen giebt, deren Ursachen bei einigen sehr nahe liegen, bei andern aber schwer zu ermitteln sind, und sich ohne specielle Untersuchungen der etwa vorhandenen örtlichen Bedingungen gar nicht auffinden lassen. Die Sache selbst ist durch mehrere, von SCHOUW und KÄMTZ beigebrachte Beispiele aufser Zweifel gesetzt; wir wollen hier gleichfalls einige mittheilen, welche genügen werden, die Gröfse der Abweichungen anschaulicher zu machen. Aus den Beobachtungen BOUVARD's in *Paris* findet KÄMTZ[3], wenn die Gesammtzahl aller Beobachtungen zur Abkürzung der Decimalstellen statt 1 vielmehr = 100 genommen wird, folgende Gröfsen.

---

1 Aus den Mannheimer Ephemeriden.
2 Ebendaselbst.
3 Meteorologie. Th. I. S. 243.

Paris	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	15,4	11,8	6,9	7,4	19,4	15,4	14,2	9,5
Februar	9,6	6,8	6,3	7,8	22,6	17,9	19,9	9,1
März	15,8	18,4	5,1	6,5	12,9	15,4	16,9	9,1
April	18,3	13,8	7,7	6,6	16,2	13,1	14,7	9,6
Mai	14,0	9,2	7,7	7,8	16,2	19,7	17,8	7,6
Juni	19,2	12,5	6,0	4,6	8,7	15,5	22,0	11,4
Juli	15,1	6,5	4,4	4,6	11,9	20,3	26,9	10,3
August	10,4	6,1	6,2	3,5	12,1	22,4	27,0	12,3
September	12,9	11,9	6,8	5,8	17,3	18,8	17,5	9,1
October	7,8	7,5	7,1	10,4	27,4	17,3	15,0	7,5
November	7,8	10,0	5,6	7,1	20,0	20,6	19,1	9,8
December	6,1	12,5	7,6	5,1	23,1	21,0	17,1	7,5

Die Berechnung giebt hieraus folgende Gröfsen:

Monat	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Januar	S. 66° W.	0,124	1:1,50	1:1,15
Februar	S. 48 W.	0,298	1:2,24	1:1,90
März	N. 59 W.	0,135	1:1,38	1:0,80
April	N. 49 W.	0,072	1:1,33	1:0,88
Mai	S. 61 W.	0,199	1:1,83	1:1,42
Juni	N. 60 W.	0,265	1:2,12	1:0,67
Juli	N. 86 W.	0,364	1:3,71	1:1,16
August	S. 80 W.	0,392	1:3,91	1:1,52
September	S. 68 W.	0,193	1:1,85	1:2,23
October	S. 24 W.	0,316	1:1,59	1:2,42
November	S. 52 W.	0,290	1:2,18	1:1,73
December	S. 39 W.	0,274	1:1,81	1:1,89

Für *Hamburg* geben die Beobachtungen folgende Gröſsen:

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	9	22	43	45	17	69	57	48
Februar	10	25	32	28	11	71	66	35
März	20	46	50	31	11	41	65	46
April	17	53	43	35	9	43	59	41
Mai	10	58	43	29	9	38	65	59
Juni	8	38	18	17	7	44	94	71
Juli	9	19	25	24	12	64	97	58
August	11	22	24	30	11	73	93	47
September	9	28	30	26	17	60	87	43
October	6	20	47	42	26	72	67	30
November	8	23	46	32	19	72	73	27
December	8	24	46	38	19	74	71	29

Hieraus ergiebt sich:

Monat	Richtung.			Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Januar	S.	52°	W.	0,210	1:1,58	1:1,66
Februar	S.	68	W.	0,277	1:2,02	1:1,57
März	N.	44	W.	0,103	1:1,20	1:0,74
April	N.	34	W.	0,078	1:1,09	1:0,78
Mai	N.	39	W.	0,150	1:1,25	1:0,60
Juni	N.	74	W.	0,416	1:2,86	1:0,58
Juli	S.	85	W.	0,417	1:3,22	1:1,16
August	S.	78	W.	0,384	1:2,80	1:0,81
September	S.	79	W.	0,305	1:2,26	1:1,29
October	S.	36	W.	0,262	1:1,55	1:2,50
November	S.	50	W.	0,254	1:1,70	1:2,12
December	S.	46	W.	0,244	1:1,61	1:2,15

Für *Kopenhagen* giebt Schouw folgende Richtungen an:

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	9	11	12	13	12	17	16	10
Februar	8	10	12	10	14	19	18	9
März	10	10	15	9	13	16	16	11
April	11	11	15	11	13	12	15	12
Mai	11	10	14	11	12	13	15	14
Juni	9	6	11	10	12	14	22	16
Juli	9	5	7	7	12	16	25	19
August	6	5	8	9	12	18	25	17
September	8	7	12	11	14	16	19	13
October	7	8	13	13	12	19	18	10
November	8	9	11	9	12	23	19	9
December	9	12	14	13	12	17	16	7

Hieraus ergiebt sich:

Monat	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Januar	S. 33° 11′ W.	0,111	1 : 1,25	1 : 1,29
Februar	S. 41 43 W.	0,175	1 : 1,88	1 : 1,78
März	S. 48 48 W.	0,088	1 : 1,25	1 : 1,44
April	S. 35 16 W.	0,025	1 : 1,04	1 : 1,61
Mai	S. 67 30 W.	0,026	1 : 1,21	1 : 1,26
Juni	S. 78 4 W.	0,213	1 : 1,94	1 : 1,85
Juli	S. 86 11 W.	0,340	1 : 3,23	1 : 2,05
August	S. 74 31 W.	0,331	1 : 2,80	1 : 2,53
September	S. 53 23 W.	0,189	1 : 1,61	1 : 1,88
October	S. 35 35 W.	0,183	1 : 1,59	1 : 2,06
November	S. 50 24 W.	0,223	1 : 1,75	1 : 2,04
December	S. 6 50 W.	0,108	1 : 1,03	1 : 1,45

Für *Berlin* ergiebt sich aus Beguelin's[1] Beobachtungen:

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	3,6	7,8	18,7	11,0	11,8	20,8	17,1	9,2
Februar	4,8	9,5	10,5	10,6	11,2	24,2	18,0	11,2
März	3,6	9,8	16,8	12,0	9,5	16,2	21,2	10,9
April	5,6	14,0	13,9	9,6	6,2	15,3	23,2	12,2
Mai	5,1	12,1	13,3	11,9	4,1	16,8	20,1	16,7
Juni	5,3	8,1	9,7	11,7	5,0	15,4	21,9	22,9
Juli	5,7	6,5	7,2	6,9	4,8	13,8	31,1	24,0
August	8,0	6,4	7,1	6,4	7,5	19,2	25,0	20,4
September	4,1	8,2	13,3	11,1	8,3	18,9	22,2	13,8
October	6,1	4,6	15,4	12,7	10,8	20,1	18,4	11,9
November	4,7	9,3	11,5	12,6	9,3	19,9	21,3	11,1
December	4,8	8,4	15,8	14,3	8,4	20,1	17,7	10,6

Hieraus findet Kämtz:

Monat	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Januar	S. 19° W.	0,197	1 : 1,26	1 : 2,12
Februar	S. 48 W.	0,246	1 : 1,75	1 : 1,80
März	S. 36 W.	0,139	1 : 1,22	1 : 1,53
April	N. 89 W.	0,122	1 : 1,35	1 : 0,98
Mai	N. 85 W.	0,136	1 : 1,44	1 : 0,96
Juni	N. 83 W.	9,255	1 : 2,04	1 : 0,88
Juli	N. 89 W.	0,412	1 : 3,34	1 : 0,70
August	N. 88 W.	0,369	1 : 3,25	1 : 0,95
September	S. 62 W.	0,209	1 : 1,69	1 : 1,47
October	S. 40 W.	0,210	1 : 1,54	1 : 1,93
November	S. 51 W.	0,209	1 : 1,57	1 : 1,66
December	S. 28 W.	0,163	1 : 1,26	1 : 1,80

1 Beob. von 1769 bis 1785 in den Mém. de Berlin.

Aus dem südlichen Deutschland[1] wählt Kämtz die Beobachtungen zu *Prag*.

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	3,5	2,8	3,4	10,6	15,3	27,5	23,9	12,9
Februar	4,5	4,8	3,3	6,1	8,5	23,8	25,9	23,1
März	9,1	6,2	3,8	10,2	11,9	22,3	16,9	19,7
April	8,9	10,9	9,8	8,2	10,7	19,8	15,5	16,2
Mai	8,8	7,5	7,9	11,9	10,8	22,1	15,0	15,9
Juni	12,7	6,8	6,4	5,4	9,8	15,4	22,4	21,1
Juli	4,3	3,1	3,1	4,9	7,2	28,1	24,0	25,3
August	8,5	2,4	3,5	3,6	8,6	24,3	25,0	24,1
September	4,2	5,3	5,9	5,9	9,2	25,2	26,6	17,7
October	4,7	6,3	5,7	10,2	8,6	26,1	15,4	23,0
November	6,2	1,7	3,8	5,6	14,9	29,0	21,7	17,1
December	4,1	3,4	6,7	11,1	20,9	29,0	15,4	9,4

Hieraus ergiebt sich:

Monat	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Januar	S. 56° W.	0,483	1:3,92	1:2,78
Februar	S. 84 W.	0,483	1:5,13	1:1,19
März	S. 77 W.	0,321	1:2,92	1:1,27
April	S. 82 W.	0,178	1:1,78	1:1,08
Mai	S. 65 W.	0,224	1:1,94	1:1,39
Juni	N. 77 W.	0,341	1:3,16	1:0,75
Juli	S. 83 W.	0,534	1:6,97	1:1,23
August	S. 89 W.	0,516	1:7,73	1:1,06
September	S. 76 W.	0,444	1:4,06	1:1,48
October	S. 75 W.	0,339	1:2,91	1:1,32
November	S. 66 W.	0,495	1:6,11	1:1,98
December	S. 35 W.	0,442	1:2,54	1:3,61

1 Für mehrere Orte in Würtemberg finden sich brauchbare Bestimmungen von Schübler in Schweigger's Journ., z. B. LII. 257. LIV. 77. LV. 135 u. a. a. O., hauptsächlich auch in den Berichten des landwirthschaftlichen Vereins.

O. Eisenlohr[1] theilt die sämmtlichen, zu *Carlsruhe* während 44 Jahren beobachteten Windrichtungen mit:

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	322	1076	434	51	82	1369	454	118
Februar	299	771	309	38	98	1417	518	108
März	454	1008	320	26	94	1208	596	200
April	499	839	338	38	99	1119	673	175
Mai	488	909	362	48	135	1174	707	176
Juni	564	759	236	30	88	1239	731	223
Juli	446	668	174	63	121	1530	860	230
August	358	714	278	49	114	1503	714	176
September	340	850	323	40	98	1298	683	148
October	293	1055	325	89	146	1291	552	155
November	297	863	315	44	124	1594	553	80
December	234	927	410	25	119	1718	526	133

Werden diese auf die angegebene Weise berechnet, so erhält man:

Monat	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Januar	N. 73° 45′ W.	0,029	1 : 1,33	1 : 0,99
Februar	S. 70 12 W.	0,075	1 : 1,84	1 : 1,31
März	N. 57 40 W.	0,064	1 : 1,40	1 : 0,80
April	N. 64 37 W.	0,069	1 : 1,69	1 : 0,83
Mai	N. 79 14 W.	0,137	1 : 1,56	1 : 0,86
Juni	N. 74 18 W.	0,101	1 : 2,16	1 : 0,81
Juli	S. 88 56 W.	0,126	1 : 2,98	1 : 1,27
August	S. 78 19 W.	0,165	1 : 2,29	1 : 1,33
September	N. 89 57 W.	0,070	1 : 1,75	1 : 1,07
October	N. 87 21 W.	0,044	1 : 1,36	1 : 1,01
November	S. 67 48 W.	0,084	1 : 1,82	1 : 1,42
December	S. 55 52 W.	0,091	1 : 1,74	1 : 1,44

1 Untersuchungen über den Einfluſs des Windes u. s. w. 1837. 4. S. 3.

Für Orte aufser Europa wählt Kämtz die Beobachtungen zu *Fort Columbus*[1] am Hafen zu New-York.

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	1	14	4	6	11	27	9	49
Februar	6	15	4	7	6	25	5	45
März	3	16	5	15	7	24	11	43
April	1	14	5	21	14	28	6	31
Mai	...	12	...	23	29	21	7	32
Juni	1	14	1	25	19	27	7	26
Juli	...	9	6	15	22	40	10	22
August	4	16	3	17	33	24	9	18
September	...	25	4	25	11	23	5	30
October	2	10	8	17	19	12	7	49
November	7	10	1	9	7	28	12	46
December	7	13	1	14	10	23	13	43

Hieraus geht hervor:

Monat	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Januar	N. 72° W.	0,377	1:3,54	1:0,66
Februar	N. 62 W.	0,372	1:2,89	1:0,57
März	N. 72 W.	0,267	1:2,17	1:0,74
April	S. 49 W.	0,200	1:1,63	4:1,57
Mai	S. 34 W.	0,283	1:1,74	1;1,66
Juni	S. 31 W.	0,257	1:1,50	1:1,73
Juli	S. 38 W.	0,401	1:2,40	1:2,49
August	S. 20 W.	0,291	1:1,42	1:1,68
September	S. 42 W.	0,049	1:1,07	1:1,07
October	N. 80 W.	0,189	1:1,94	1:0,79
November	N. 75 W.	0,430	1:4,30	1:0,71
December	N. 75 W.	0,330	1:2,82	1:0,75

1 Beob. von 1822 bis 1825. Nach Lovell in meteorological register by the surgeons of the army. Washingt. 1826. 4.

Für *Pensacola* in Westflorida giebt Kämtz[1] folgende Bestimmungen an:

Monat	Richtung	Stärke	Monat	Richtung	Stärke
Januar	N. 17° O.	0,126	Juli	S. 32° W.	0,582
Februar	N. 57 W.	0,101	August	S. 31 W.	0,246
März	S. 12 O.	0,251	September	S. 39 O.	0,187
April	S. 1 W.	0,444	October	N. 57 O.	0,277
Mai	S. 31 W.	0,336	November	N. 85 O.	0,190
Juni	S. 26 W.	0,582	December	N. 56 O.	0,345

Aufser diesen verdienen noch die monatlichen Windrichtungen hier aufgenommen zu werden, welche Kämtz[2] aus dem Mittel der Beobachtungen von Coutelle[3] und Niebuhr[4] für *Cairo* berechnet hat.

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	17,1	14,4	2,7	9,2	36,8	6,6	10,5	2,7
März	13,3	21,3	7,5	3,3	5,5	15,6	11,4	22,1
April	16,0	10,4	4,6	4,1	3,8	9,3	22,9	28,9
Mai	32,3	22,8	4,5	9,1	6,6	6,1	6,2	12,4
Juni	47,4	28,5	6,5	0,0	3,2	1,6	2,4	10,4
Juli	77,9	12,8	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	8,5
August	83,9	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9
September	60,0	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7
October	47,6	32,3	0,0	6,4	6,5	0,0	3,2	4,0
November	41,1	15,6	16,7	7,8	12,2	3,3	0,0	3,3
December	9,5	16,2	12,2	2,7	33,8	9,5	8,1	8,1

Die Berechnung dieser Beobachtungen giebt folgende Werthe:

Monat	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Januar	S. 8° W.	0,189	1: 0,65	1:0,75
März	N. 27 W.	0,284	1: 2,32	1:1,53
April	N. 49 W.	0,465	1: 3,21	1:3,20
Mai	N. 15 W.	0,426	1: 3,55	1:0,68
Juni	N. 13 O.	0,723	1: 18,19	1:0,41
Juli	N. 2 O.	0,925	1:124,00	1:0,67
August	N. 6 O.	0,959	1: ∞	1:0,06
September	N. 12 O.	0,902	1: ∞	1:0,20
October	N. 19 O.	0,659	1: 6,50	1:0,18
November	N. 40 O.	0,447	1: 2,57	1:0,16
December	S. 17 O.	0,168	1: 0,74	1:0,82

1 Meteorologie. Th. I. S. 242.
2 Meteorologie. Th. 1. S. 204.
3 Description de l'Égypte T. XIX. p. 451.
4 Reisebeschreibung. Th. I. S. 476.

Aus den meteorologischen Registern, welche Falbe[1] vom März 1826 bis zum October 1827 zu *Tunis* führte, ergeben sich folgende Windrichtungen:

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	18,0	2,2	6,7	7,9	6,8	11,2	20,2	27,0
Februar	17,3	3,7	8,6	12,3	9,9	6,2	21,0	21,0
März	16,7	8,3	8,3	8,3	9,5	4,8	17,9	26,2
April	15,5	8,3	21,4	13,1	8,3	2,4	11,9	19,0
Mai	12,0	9,9	16,5	18,7	7,7	3,3	7,7	24,2
Juni	10,3	19,6	26,4	9,2	3,5	1,2	8,0	21,8
Juli	20,2	21,1	22,0	12,9	4,6	0,0	4,6	14,6
August	24,4	11,0	18,1	16,5	12,6	0,8	2,4	14,2
September	12,4	24,3	13,3	13,3	3,5	3,5	11,5	17,7
October	16,7	7,9	10,5	11,4	9,7	8,7	14,0	21,1
November	13,3	6,0	1,2	4,8	12,0	9,6	20,5	32,5
December	7,1	9,4	3,5	4,7	12,9	11,8	28,2	22,4

Hieraus ergiebt sich:

Monat	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Januar	N. 61° W.	0,381	1 : 1,82	1 : 3,48
Februar	N. 60 W.	0,235	1 : 1,48	1 : 1,96
März	N. 42 W.	0,298	1 : 2,25	1 : 1,89
April	N. 57 O.	0,114	1 : 1,80	1 : 0,78
Mai	N. 37 O.	0,159	1 : 1,55	1 : 0,78
Juni	N. 38 O.	0,365	1 : 4,07	1 : 0,56
Juli	N. 44 O.	0,449	1 : 3,20	1 : 0,34
August	N. 55 O.	0,301	1 : 1,66	1 : 0,36
September	N. 27 O.	0,304	1 : 2,71	1 : 0,63
October	N. 39 W.	0,172	1 : 1,53	1 : 1,48
November	N. 66 W.	0,453	1 : 1,96	1 : 5,22
December	N. 33 W.	0,420	1 : 1,32	1 : 3,56

1 Poggendorff's Ann. XIV. 628.

Einen trefflichen Schatz von Beobachtungen liefern diejenigen, welche John Ross[1] zu *Felix Harbour* unter 70° nördl. Br. und 91° 53′ westl. L. v. G. anstellen liefs. Werden hiervon die zweijährigen genommen, welche vom Januar 1830 anfangen und mit December 1831 endigen, so giebt deren Berechnung folgende Resultate:

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	398	27	36	42	151	229	135	257
Februar	174	133	51	42	214	211	122	126
März	194	87	58	29	49	187	166	177
April	346	55	110	41	114	166	131	278
Mai	315	154	185	84	118	115	155	217
Juni	181	191	88	31	121	259	235	188
Juli	365	227	204	88	117	59	86	161
August	390	165	116	53	128	74	148	308
September	430	81	127	41	166	98	160	264
October	364	61	103	86	175	162	197	198
November	369	22	49	187	203	70	119	183
December	305	10	75	145	190	75	97	288

Hieraus ergeben sich folgende Resultate:

Monat	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Januar	N. 56° 50′ W.	0,470	1:5,31	1:0,53
Februar	S. 79 36 W.	0,174	1:2,16	1:0,94
März	N. 48 30 W.	0,377	1:3,00	1:0,48
April	N. 39 0 W.	0,417	1:2,23	1:0,42
Mai	N. 6 31 W.	0,320	1:1,02	1:0,43
Juni	N. 68 7 W.	0,322	1:2,30	1:0,72
Juli	N. 23 51 O.	0,457	1:0,58	1:0,34
August	N. 16 17 W.	0,530	1:1,50	1:0,70
September	N. 26 18 W.	0,457	1:1,81	1:0,39
October	N. 50 54 W.	0,314	1:2,12	1:0,60
November	N. 38 2 W.	0,164	1:1,60	1:0,70
December	N. 44 51 W.	0,240	1:1,82	1:0,68

1 Appendix to the Narrative of a second Voyage in search of a North-West-Passage cet. 1835. 4. Meteorol.

Um auch einen Ort aus der südlichen Halbkugel zu haben, mögen folgende in Rio de Janeiro von Bento Sanchez Dorta [1] im Jahre 1787 angestellte Beobachtungen dienen.

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	2	2	10	66	17	17	12	58
Februar	11	12	0	76	14	9	17	69
März	13	14	7	92	5	35	25	57
April	20	11	6	69	19	32	25	58
Mai	12	9	1	39	40	55	34	58
Juni	24	21	2	56	31	6	33	67
Juli	19	16	7	50	16	29	41	70
August	20	27	14	61	32	8	15	71
September	18	20	2	87	14	27	18	54
October	16	2	4	97	10	55	9	55
November	1	13	0	85	32	42	13	54
December	9	29	2	77	16	44	4	67

Hieraus ergiebt sich:

Monat	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Januar	S. 12° 26′ W.	0,118	1 : 1,11	1 : 1,81
Februar	S. 9 26 W.	0,614	1 : 1,27	1 : 1,09
März	S. 15 50 W.	0,165	1 : 1,18	1 : 1,41
April	S. 50 23 W.	0,338	1 : 1,52	1 : 1,27
Mai	S. 77 12 W.	0,918	1 : 3,60	1 : 1,77
Juni	S. 84 11 W.	0,277	1 : 1,70	1 : 0,91
Juli	N. 82 9 W.	0,578	1 : 2,27	1 : 0,90
August	S. 54 20 W.	0,104	1 : 0,94	1 : 0,95
September	S. 7 52 O.	0,175	1 : 1,07	1 : 1,25
October	S. 11 49 W.	0,301	1 : 1,18	1 : 1,91
November	S. 8 58 W.	0,743	1 : 1,24	1 : 2,80
December	S. 13 37 W.	0,234	1 : 1,09	1 : 1,35

65) Betrachten wir zuerst die in Europa gelegenen Orte, so ist im Allgemeinen der Westwind vorherrschend, der in den einzelnen Monaten sich etwas nach Süden oder nach Norden wendet. Nach den Frühlingsnachtgleichen tritt meistens

1 Memorias de mathematica e physica da academia real das Sciencas de Lisboa T. III. P. I. Von mir entnommen aus Freycinet Voyage. T. I. p. 98.

eine nördliche Richtung ein, namentlich zu Paris im März und April, zu Hamburg und Carlsruhe im März bis Juni, zu Berlin vom April bis Juli, und man könnte hieraus schliefsen, dafs die Ursache im Andrange der nördlichen Luftmassen gegen die mehr erwärmte äquatorische Zone liege, allein Prag macht hierbei eine Ausnahme, indem daselbst die Windrichtung erst im Juni etwas nördlicher wird, in Kopenhagen aber dauert die westliche Richtung im ganzen Jahre fort. An keinem andern Orte ist übrigens auffallender, als an diesem, wie die südliche Windrichtung vom December an zunehmend westlicher wird, im Juli das Maximum dieser Abweichung erreicht, und dann fast regelmäfsig abnehmend wieder zurückkehrt. Etwas diesem ähnliches, jedoch minder auffallend, finden wir an allen angegebenen europäischen Orten, nämlich dafs die Windrichtung in den Wintermonaten am meisten südlich ist, sich dann in den folgenden Monaten mehr nach Westen wendet, über den Westpunct hinaus nach Nord geht, im Juni oder Juli das Maximum dieser Drehung erreicht, dann durch West wieder zurückkehrt und sich mehr dem Süden nähert. Als Ursache hiervon betrachtet Kämtz[1] den rückkehrenden Südwestpassat, welcher die im Allgemeinen westliche Windrichtung in Europa bedingt, sofern die unter dem Aequator aufsteigenden Luftmassen unter höheren Breiten wieder herabsinken[2]. Wird im Sommer das Land mehr als die See erwärmt, so dringt die Luft vom atlantischen Oceane stärker ein, und die Windrichtung geht mehr nach West und selbst nach Nord über. Als die Ursache der im Herbst mehr südlich werdenden Windrichtung, die im October das Maximum dieser südlichen Ablenkung erreicht, betrachtet er einen Austausch der Luftmassen beider Hämisphären, in dessen Folge die der südlichen Halbkugel mehr der nördlichen zuströmen; ich möchte jedoch zugleich auch die Ansicht hervorheben, wonach im Sommer die Länder unter höheren Breiten wärmer werden und die kälteren Luftmassen vom Meere her eindringen. Wenn dann nach den Frühlingsnachtgleichen die südlicheren Länder eine niedrigere Temperatur annehmen, die nördlichen Luftströmungen aber durch den stärkeren Andrang der südlichen und westlichen

---

1 Meteorologie. Th. I. S. 348.

2 Nach Le Gentil in Mém. de Par. 1784. p. 480.

Strömungen in der Nähe der Erdoberfläche in die höheren Regionen gehoben sind, so werden sie dort der äquatorischen Zone zufliefsen, die südlichern Luftmassen aber unter ihnen nach Norden vordringen. Man findet im Winter häufig den Kampf dieser entgegengesetzten Luftströmungen, und wenn die nördlichen sich der Erdoberfläche nähern, tritt Kälte ein, gelindes Wetter dagegen mit Niederschlägen, wenn die durch ihre schnellere Bewegung kräftigeren südlichen die niederen Regionen einnehmen. Allezeit aber bleibt die Erklärung schwierig, und zwar um so mehr, wenn man berücksichtigt, dafs die angegebene Regel sich selbst bis zu den sehr östlichen Ländermassen Europa's erstreckt, wie Schouw[1] zwar nach zweijährigen Beobachtungen zu Moscau bezweifelt, Kämtz aber aus siebenjährigen, in den Mannheimer Ephemeriden mitgetheilten, zur Evidenz darthut.

66) Ueberblicken wir dagegen die angegebenen aufsereuropäischen Windrichtungen, so gewahren wir alsobald die Anwesenheit örtlicher Einflüsse, die sich aus leicht begreiflichen Gründen unter etwas höheren Breiten nicht auf gleiche Weise zeigen können. Zu Fort Columbus, an der Küste des grofsen Oceans, ist in den sechs Wintermonaten der vom Lande herkommende Nordwind, in den sechs Sommermonaten dagegen der von der See her wehende Südwind so auffallend vorherrschend, dafs man diese Winde als wahre Mussons betrachten kann. Eben dieses zeigt sich zu Pensacola an der Küste des mexicanischen Meerbusens mit der unbedeutenden Ausnahme, dafs daselbst die nördliche Windrichtung nur 5 Monate anhält und im März schon die südliche beginnt. Zu Cairo dagegen, welches im Süden die ausgedehnten Sandwüsten hat, müssen aus dieser Ursache das ganze Jahr hindurch Nordwinde, meistens mit etwas östlicher Richtung, wehn, und nur in den beiden Wintermonaten, December und Januar, wird das Land mehr abgekühlt, das Meer aber behält seine höhere Temperatur noch einige Zeit bei, so dafs dann Südwinde vorherrschen. Eben dieses zeigt sich zu Tunis, wo der Wind unausgesetzt nördlich ist, je sechs Monate abwechselnd mit östlicher oder westlicher Richtung, die mit fast regelmäfsiger Zunahme und Abnahme allmälig in einander übergehn. Die verschiedenartigen

1 Beiträge zur Klimatologie. S. 57.

Einflüsse scheinen mit den Polhöhen zuzunehmen, so dafs die unregelmäfsigen und stets wechselnden Windrichtungen kaum irgend ein bestehendes Gesetz wahrnehmen lassen. So müssen wir wenigstens nach den Beobachtungen schliefsen, die uns aus sehr hohen nördlichen Breiten zu Gebote stehn. Es geht dieses sehr auffallend aus den meteorologischen Tagebüchern hervor, welche Scoresby[1] in den Sommern 1807 bis 1818 in der Nähe von Spitzbergen führte, woraus man ersieht, dafs die Windrichtung fast täglich, und an einigen Tagen sogar mehrmals wechselt. Für die Monate April und Juli sind keine vollständige Register vorhanden, die Monate Mai und Juni ergaben aber im Mittel folgende Richtungen, wenn die aufgezeichneten 16 Windrichtungen auf die oben (§. 59) angegebene Weise auf 8 reducirt werden.

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Mai	7,4	3,7	2,0	2,3	2,1	1,6	2,1	5,6
Juni	5,1	1,9	1,4	2,7	4,3	3,2	1,8	3,9

Im Ganzen sind im grönländischen Polarmeere die nördlichen Winde vorherrschend, und werden blofs im Herbst durch die von heftigen Stürmen begleiteten SW. und Südwinde unterbrochen. Dieser Uebergang zur südlicheren Richtung zeigt sich noch deutlicher, als aus der gegebenen Tabelle für zwei Monate, aus der folgenden, welche Scoresby[2] nach den vieljährigen Registern seines Vaters aufgestellt hat. Hiernach ist aus 7 Jahren für den April, 12 Jahren für den Mai, 10 Jahren für den Juni und 6 Jahren für den Juli die Windrichtung

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
April	6,0	4,4	2,0	1,6	3,0	2,1	2,4	3,6
Mai	7,4	3,7	2,0	2,3	2,1	1,6	2,1	5,6
Juni	5,1	1,9	1,4	2,7	4,3	3,2	1,8	3,9
Juli	2,7	2,1	1,7	1,5	5,5	5,3	2,5	2,6

Werden diese Bestimmungen nach Lambert's Methode berechnet, so erhalten wir als mittlere Windrichtungen für den April N. 6° 41′ O., für den Mai N. 17° 55′ W., für den Juni N. 71° 39′ W. und für den Juli S. 41° 53′ W.

---

1 Account of the arctic regions. T. I. App. p. 9.
2 Account. T. I. p. 411.

67) Aus den hier mitgetheilten Uebersichten der monatlichen mittleren Windrichtungen ergiebt sich von selbst, dafs auch *vierteljährliche Wechsel* statt finden müssen, die nach den Oertlichkeiten bald regelmäfsiger, bald unregelmäfsiger sind. Es scheint mir zweckmäfsig, auch diese, wie sie bei weitem zum gröfsten Theile durch Kämtz berechnet sind, der Vollständigkeit wegen hier mitzutheilen.

Paris.

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Winter	S. 48° W.	0,229	1:1,82	1:1,58
Frühling	N. 88 W.	0,128	1:1,50	1:0,99
Sommer	N. 88 W.	0,328	1:3,09	1:1,00
Herbst	S. 48 W.	0,283	1:1,86	1:1,72

Hamburg.

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Winter	S. 55° W.	0,237	1:1,72	1:1,77
Frühling	N. 39 W.	0,110	1:1,18	1:0,70
Sommer	W.	0,397	1:2,96	1:1,00
Herbst	S. 67 W.	0,236	1:1,81	1:1,89

Kopenhagen.

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu west.	nördl. zu südl.
Winter	S. 37° 43′ W.	0,096	1:1,17	1:0,69
Frühling	S. 47 44 W.	0,061	1:1,18	1:0,87
Sommer	S. 57 15 W.	0,329	1:2,48	1:0,84
Herbst	S. 51 26 W.	0,189	1:1,58	1:0,54

Berlin.

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Winter	S. 33° W.	0,197	1:1,37	1:1,90
Frühling	S. 75 W.	0,116	1:1,32	1:1,13
Sommer	N. 83 W.	0,346	1:2,77	1:0,85
Herbst	S. 50 W.	0,201	1:1,60	1:1,67

Mühlhausen in Thüringen[1].

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Winter	S. 80° W.	0,288	1 : 2,16	1 : 1,19
Frühling	N. 68 W.	0,192	1 : 1,56	1 : 0,58
Sommer	N. 78 W.	0,365	1 : 2,92	1 : 0,74
Herbst	S. 64 W.	0,194	1 : 1,45	1 : 1,36

Prag.

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Winter	S. 58° W.	0,442	1 : 3,70	1 : 2,23
Frühling	S. 74 W.	0,239	1 : 2,14	1 : 1,24
Sommer	W.	0,459	1 : 5,35	1 : 0,99
Herbst	S. 71 W.	0,429	1 : 4,00	1 : 1,56

Carlsruhe.

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Winter	S. 73° 52′ W.	0,042	1 : 1,68	1 : 1,15
Frühling	N. 50 6 W.	0,055	1 : 1,57	1 : 0,88
Sommer	S. 87 23 W.	0,071	1 : 2,27	1 : 1,20
Herbst	S. 73 37 W.	0,048	1 : 1,54	1 : 1,15

Moscau.

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Winter	S. 56° W.	0,048	1 : 1,16	1 : 1,09
Frühling	N. 63 W.	0,114	1 : 1,40	1 : 0,89
Sommer	N. 48 W.	0,188	1 : 1,51	1 : 0,71
Herbst	S. 81 W.	0,227	1 : 2,25	1 : 1,12

Fort Columbus.

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Winter	N. 70° 48′ W.	0,126	1 : 3,00	1 : 0,66
Frühling	S. 62 57 W.	0,077	1 : 1,82	1 : 1,22
Sommer	S. 30 17 W.	0,126	1 : 1,72	1 : 1,27
Herbst	N. 81 19 W.	0,077	1 : 1,94	1 : 0,80

1 Aus Beobachtungen in den Jahren 1837, 1838 und 1839 von N. Graeger in Poggendorff's Ann. LIII. 637.

Tunis.

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Winter	N. 69° 14′ W.	0,080	1:2,86	1:0,71
Frühling	N. 2 39 W.	0,019	1:1,04	1:0,54
Sommer	N. 45 00 O.	0,109	1:0,43	1:0,39
Herbst	N. 34 6 W.	0,070	1:1,52	1:0,51

Madeira[1].

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Winter	N. 6° O.	0,397	1:0,67	1:0,17
Frühling	N. 15 O.	0,419	1:0,65	1:0,11
Sommer	N. 34 O.	0,673	1:0,26	1:0,01
Herbst	N. 13 O.	0,379	1:0,67	1:0,13

Felix Harbour.

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu west.	nördl. zu südl.
Winter	N. 65° 0′ W.	0,086	1:2,62	1:0,71
Frühling	N. 35 37 W.	0,100	1:1,77	1:0,44
Sommer	N. 14 25 W.	0,108	1:1,26	1:0,41
Herbst	N. 36 22 W.	0,091	1:1,83	1:0,55

Rio de Janeiro.

Jahrszeit	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Winter	S. 19° 55′ W.	0,059	1:1,15	1:1,36
Frühling	S. 48 25 W.	0,142	1:1,76	1:1,52
Sommer	N. 70 54 W.	0,084	1:1,55	1:0,92
Herbst	S. 39 3 W.	0,159	1:1,16	1:1,80

Beachtenswerth ist, was schon aus einer Vergleichung der vierteljährlichen Windverhältnisse zu Fort Columbus mit denen im westlichen Europa hervorgeht, dafs die Windrichtung dort im Sommer mehr zur südlichen, hier dagegen mehr zur nördlichen übergeht, während für den Winter das Gegentheil statt

1 Nach Beobachtungen von Heinecken in den Jahren 1827 u. 1828 in Edinb. Journ. of Sc. N. X. p. 73. New Ser. N. I. p. 34. Nach Kämtz Meteor. Th. I. S. 219.

findet. Ein gleiches Resultat hat Dove[1] für *Cambridge* in *Massachusets* aus Beobachtungen erhalten, welche den ganzen Zeitraum von 1791 bis 1812 umfassen; denn hierfür ist, wenn S als Nullpunct angenommen und der Winkel nach W. hin gemessen wird, die Abweichung

im Winter	113°	41′
— Frühling	50	26
— Sommer	41	12
— Herbst	118	19

Es versteht sich von selbst, dafs die monatlichen Aenderungen der Windrichtungen in den vierteljährlichen wieder zum Vorschein kommen müssen. Man ersieht dieses auf den ersten Blick aus den gegebenen Uebersichten, und jede weitere Bemerkung würde daher überflüssig seyn. Ein auffallender Gegensatz zeigt sich namentlich zu Moscau und Fort Columbus, indem dort im Frühling und Sommer die nördlichen, hier die südlichen Winde die Oberhand haben, während an beiden Orten im Herbst und Winter das Gegentheil eintritt.

68) So wie die Temperaturen und Regenmengen in einzelnen Jahren verschieden sind und in mehrjährigen Perioden wechseln, wenn gleich die Regel im Ganzen bestehend bleibt, so ist dieses auch bei den Windrichtungen der Fall. Diesen Satz für einzelne Jahre zu beweisen, belohnt sich der Mühe nicht, denn jeder Blick auf irgend ein Verzeichnifs mehrjähriger Windrichtungen zeigt dieses genügend, und das eigentliche Gesetz der Windrichtungen, oder die mittlere Windrichtung eines gegebenen Ortes, kann daher nur durch mehrjährige Beobachtungen gefunden werden. Insbesondere hatte Hamilton[2] Gelegenheit, dieses auf seinen Fahrten zwischen Liverpool und Philadelphia zu beobachten, indem er die dort herrschenden Winde in verschiedenen Jahren sehr wechselnd fand und keine regelmäfsige Folge anzutreffen vermochte. Von 2029 Tagen, an denen der Wind beobachtet wurde, fielen 98 in den Januar, 135 in den Februar, 198 in den März, 334 in den April, 264 in den Mai, 172 in den Juni, 125 in den Juli, 223 in den August, 159 in den September, 144 in den October, 98 in den November und 179 in den December. Unter diesen

1 Repertorium der Physik. Th. IV. S. 178.

2 Trans. of the Amer. philos. Soc. cit. New ser. T. II. p. 140.

waren N. 208, S. 167, O. 361, W. 1101 und veränderliche 192. Inzwischen ist das Verzeichnifs nicht geeignet, die mittlere monatliche, vierteljährliche und jährliche Windrichtung daraus zu bestimmen, weil HAMILTON sich nicht stets zur See befand und namentlich weniger in den Wintermonaten, als im Sommer. Die in Kopenhagen angestellten Beobachtungen von den Jahren 1751 bis 1776, dann von 1782 bis 1788, dann von 1798 bis 1805, worin das Jahr 1801 fehlt, endlich von 1815 bis 1819 und vom Jahre 1823, im Ganzen also von 45 Jahren, hat SCHOUW[1] zusammengestellt. Aus diesen hebt KÄMTZ[2] die beiden Jahre 1765 und 1800 hervor, in denen die mittlere Windrichtung am meisten, nämlich um mehr als 100 Grade, verschieden ist. Wird für jedes fünfte Jahr die mittlere Richtung und Stärke der Winde gesucht, so erhält man hieraus folgende Resultate:

1751	Richtung	S. 57°	7′	W.	Stärke	0,181
1755	—	N. 80	48	W.	—	0,180
1760	—	N. 87	38	W.	—	0,212
1765	—	N. 59	13	W.	—	0,290
1770	—	N. 86	41	W.	—	0,122
1775	—	S. 50	30	W.	—	0,313
1785	—	N. 75	41	W.	—	0,183
1800	—	S. 17	59	W.	—	0,235
1815	—	S. 38	7	W.	—	0,114
1823	—	S. 43	43	W.	—	0,261

Werden die Beobachtungen von je neun Jahren zusammengestellt, so giebt dieses fünf Perioden, worin die Windverhältnisse folgende sind:

erste Periode:	Richtung	S. 83°	5′	W.	Stärke	0,200
zweite Periode:	—	S. 70	1	W.	—	0,171
dritte Periode:	—	S. 55	2	W.	—	0,113
vierte Periode:	—	S. 73	40	W.	—	0,157
fünfte Periode:	—	S. 45	59	W.	—	0,172

wonach also zwischen der ersten und fünften Periode ein Unterschied von nahe 40 Graden statt findet. Man ersieht hieraus, wie viel schärfere Resultate durch die von KÄMTZ befolgte

1 Beiträge zur vergleichenden Klimatologie. S. 67.
2 Meteorologie. Th. I. S. 218.

Methode erhalten werden, als durch die, welche SCHOUW angewandt hat. Dieser theilt nämlich das Ganze in zwei Perioden, vereinigt in der ersten die Beobachtungen von HORREBOW in den 26 Jahren von 1751 bis 1776, in der zweiten in den 24 Jahren von 1782 bis 1788, 1795 bis 1805, 1815 bis 1819 und 1823, und erhält dann folgende mittlere Werthe

Periode	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.	östl.	westl.
1	10	10	12	8	12	18	19	11	30	48
2	7	7	12	13	13	16	19	13	32	48

In diesen längeren Perioden müssen sich die Unterschiede zwischen den kürzeren und zwischen einzelnen Jahren allerdings mehr ausgleichen, so dafs in Rücksicht hierauf allerdings die Folgerungen bestehn können, welche SCHOUW daraus ableitet. Es sollen nämlich hiernach die Windverhältnisse zu Kopenhagen sowohl für das ganze Jahr, als auch für die einzelnen Jahrszeiten in dem Zeitraume, welchen diese meteorologischen Beobachtungen umfassen, unverändert geblieben seyn; allein es zeigt sich doch allerdings auch in dieser Zusammenstellung ein zunehmender Uebergang der Windrichtungen zum Südlichen, noch evidenter geht dieses aber aus den durch KÄMTZ erhaltenen Resultaten hervor. OTTO EISENLOHR[1] hat die mittlere Windrichtung für Carlsruhe aus 44 Jahren und zugleich aus den letzten 26 Jahren berechnet; die ganze Reihe giebt S. 84° 20′ W., die letztere S. 87° 22′ W., also zeigt sich auch hier ein merklicher Unterschied. Aus den Beobachtungen zu Paris in den Jahren 1806 bis 1826 von BOUVARD[2] findet KÄMTZ die mittlere Windrichtung daselbst S. 68° W., EUGÈNE BOUVARD[3] aber findet sie aus diesen und den späteren Beobachtungen S. 79° W., mit einem auffallend grofsen Unterschiede und dem merkwürdigen Umstande, dafs zu Paris und Carlsruhe die Windrichtung mehr westlich, zu Kopenhagen aber mehr südlich geworden ist. Hiernach unterliegt es wohl keinem Zweifel, dafs die mittlere Windrichtung an den nämlichen

1 Untersuchungen über den Einflufs des Windes u. s. w. S. 5. In der ersten Bestimmung an dieser Stelle befindet sich ein Fehler. Es mufs heifsen

$$\frac{-\ 209,9369}{-\ 20,8278} = 10{,}079 = \text{tang. } 84^\circ\ 20'.$$

2 Mém. de l'Instit. T. VII. p. 332.

3 Quetelet corresp. math. et phys. T. VIII. p. 273.

Orten in einzelnen Jahren merklich verschieden seyn könne, wenn sie gleich im Ganzen sich gleich bleibt und nach beiden Seiten hin mehr oder minder abweicht, wodurch Unterschiede entstehn, die sich erst durch eine längere Reihe von Jahren wieder ausgleichen.

69) Aus den immerhin noch in verhältnifsmäfsig geringer Zahl vorhandenen Beobachtungsregistern von verschiedenen Orten im westlichen und östlichen Europa und in den vereinigten Staaten America's hat Kämtz[1] eine Uebersicht der an diesen Theilen der Erdoberfläche herrschenden mittleren Windrichtungen gegeben, welche um so mehr von Interesse ist, als sie über denjenigen Theil der nördlichen Erdhälfte Auskunft giebt, wo die meisten partiellen Störungen vorwalten, die sich minder leicht auffinden lassen, als diejenigen, welche näher bei der äquatorischen Zone die beständigen Winde afficiren. Es ist hiernach im Mittel in

	Richtung	Stärke
England	S. 66° W.	0,198
Frankreich[2] und Holland .	S. 88 W.	0,133
Deutschland	S. 76 W.	0,177
Dänemark	S. 62 W.	0,170
Schweden (Stockholm) . .	S. 77 W.	0,228
östliches Europa	N. 87 W.	0,167
nördliche vereinigte Staaten	S. 86 W.	0,182

Wie sich hieraus ergiebt, ist die Windrichtung allgemein westlich, mit einer geringen Annäherung nach Süden, die im östlichen Europa zur nördlichen übergeht. Finnland und Italien machen hiervon eine Ausnahme, indem dort, vermuthlich wegen des bottnischen Meerbusens, die Winde eine mehr südliche, hier aber, wegen der Nähe der Alpen, eine mehr nördliche Richtung annehmen.

70) Es sind bei weitem noch nicht genügende Beobachtungen vorhanden, aus denen man eine tabellarische Uebersicht der Windrichtungen für die wichtigsten Orte der Erde zu-

1 Meteorologie. Th. I. S. 250. Eine sehr ausführliche Tabelle über die mittleren Windrichtungen im Staate Newyork giebt Dove in Repertorium. Th. IV. S. 176.

2 Der Mistral im südlichen Frankreich macht hiervon eine Ausnahme. S. §. 40 und 48.

sammenstellen könnte; inzwischen hat Kämtz bereits eine nicht unbedeutende Zahl von Bestimmungen gesammelt, und ich gebe daher diese um so viel vermehrt, als ich noch aufserdem aufzufinden vermochte, in der folgenden Tabelle, welche nach der auch anderweitig in diesem Werke befolgten Methode in alphabetischer Ordnung zusammengestellt ist.

Windverhältnisse.

Orte	Richtung		Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Abo[1]	S. 53°	W.	0,075	1:1,19	1:1,19
Amsterdam[2] . . .	S. 61	W.	0,164	1:1,60	1:1,40
Andex[3]	N. 89	W.	0,282	1:2,24	1:0,97
Apenrade[4]	N. 64	W.	0,082	1:1,26	1:0,86
Archangelsk[5] . . .	S. 47	W.	0,065	—	—
Baton-Rouge[6] . .	S. 10	W.	0,109	1:1,07	1:1,44
Berlin	S. 68	W.	0,195	1:1,69	1:1,32
Böringen[7]	S. 84	W.	0,095	1:1,36	1:1,05
Brady[8], Fort . . .	S. 55	W.	0,205	1:1,16	1:1,11
Brooke[9], Cant. . .	S. 31	O.	0,096	1:0,85	1:1,22
Cairo	N. 7	O.	0,508	1:0,70	1:0,27
Cambridge[10] . . .	N. 87	W.	0,258	1:2,35	1:0,95
Carlsruhe	S. 84	W.	0,207	1:1,73	1:1,08
Christiansöe[11] . .	S. 75	W.	0,166	1:1,57	1:1,30
Churchil, Fort[12] .	N. 42	W.	0,399	1:2,48	1:0,33
Clinch[13], Cant. .	S. 4	W.	0,176	1:1,07	1:1,73

1 Beobacht. von Leche von 1750 bis 1761 in Schwed. Abh. Th. XXIV. S. 193.

2 Beob. von 1701 bis 1749 und 1766 bis 1770 in Cotte Mém. Th. II. S. 200.

3 Beob. von Kettel von 1781 bis 1792 in Mannh. Ephem.

4 Beob. von Neuber von 1812 bis 1820 in Schouw Beitr. S. 28.

5 Kupffer in Mém. de Petersb. VIme Ser. T. II. p. 215.

6 Lovell Meteorol. register by the surgeons. Washingt. 1826. Beob. von 1826.

7 Höslin in Schweiggers Journ. LV. 136.

8 Beob. von 1823 bis 1825, mitgeth. durch Lovell a. a. O.

9 An der Tampa-Bai in Florida. Mitgeth. durch Lovell.

10 In Nordam. Beob. von Williams, von 1785 bis 1787 in Mannh. Ephemeriden.

11 Beob. von 1815 bis 1822. Nach Schouw a. a. O.

12 An d. Hudsonsbai. Beob. von 1767 und 1768. Von Wales in Phil. Trans. 1780. p. 134.

13 In Florida. Beob. von 1822 bis 1824. Nach Lovell.

Orte	Richtung		Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Clunie Mansion[1] .	S. 81°	W.	0,254	1:2,07	1: 1,17
Columbus, Fort .	S. 76	W.	0,231	1:2,07	1: 1,08
Cork[2]	N. 85	W.	0,201	1:1,92	1: 0,94
Council Bluffs[3] .	S. 24	W.	0,065	1:1,15	1: 1,16
Crawford[4], Fort .	N. 85	W.	0,171	1:2,15	1: 0,94
Cuxhaven[5]	N. 85	W.	0,176	1:1,78	1: 0,98
Danzig[6]	N. 89	W.	. . .	. . .	. . .
Denainvilliers[7] . .	S. 30	W.	0,139	1:1,45	1: 1,37
Elberfeld[8]	S. 52	W.	0,290	1:2,68	1: 1,82
Erfurt[9]	S. 78	W.	0,199	1:1,80	1: 1,44
Felix-Harbour . .	N. 35 43'	W.	0,368	1:1,75	1: 0,62
Göttingen[10] . . .	S. 32	W.	0,141	1:1,28	1: 1,44
Gosport[11]	W.		0,141	1:1,55	1:1,097
Halle[12]	N. 86	W.	0,289	1:3,13	1: 0,93
Hamburg[13]	S. 81	W.	0,229	1:1,84	1: 1,21
Hofmannsgave[14] .	S. 32	W.	0,200	1:1,40	1: 1,78
Howard[15], Fort .	S. 60	W.	0,161	1:1,48	1: 1,28
Jesup[16], Cant. . .	S. 50	O.	0,197	1:0,62	1: 1,53
Johnston[17], Fort .	N. 72	W.	0,162	1:2,55	1: 0,84

1 In Pertshire. Beob. von 1821 bis 1824 von Macritchie in Edinb. Phil. Journ.

2 Beob. von 1818 bis 1820 von Holt. Aus Ann. of Philos. von Schouw Beiträge a. a. O.

3 Beob. von 1822 bis 1825. Nach Lovell.

4 Beob. von 1822 bis 1824. Ebend.

5 Buek Hamburgs Klima und Witterung. Hamb. 1826. S. 83.

6 Beob. in 18 Jahren von Kleefeld. Nach Dove in Poggendorff's Ann. XIII. 585.

7 Beob. von 1748 bis 1759 und 1761 bis 1778. Von Duhamel in Cotte Mém. T. II. p. 326.

8 Schouw Beiträge. p. 44.

9 Beob. von 1781 bis 1788 von Planer in Mannh. Ephem.

10 Göttingen in med. phys. u. hist. Hinsicht, von Marx. Gött. 1824. S. 72.

11 Beob. von 1818 bis 1820 von Burney. Aus Ann. of phil. in Schouw Beitr. S. 34.

12 Beob. von 1816 bis 1818 u. 1820 bis 1822 von Bullmann, mitgetheilt durch Kämtz Met. Th. I. S. 225.

13 Beob. von 1788 bis 1809 u. 1816 bis 1823. In Buek Hamburgs Klima u. s. w.

14 Beob. von 1802 bis 1805 in Schouw Beiträge. S. 29.

15 Unweit des See Michigan. Beob. von 1822 bis 1825. Nach Lovell.

16 Am Sabine-River. Beob. von 1823 bis 1825. Nach Lovell.

17 In Nordcarolina. Beob. von 1822 bis 1825. Ebend.

Orte.	Richtung		Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
Kendal[1]	S. 69°	W.	0,214	1:1,83	1:1,81
Kerk[2]	N. 89	W.	0,200	1:1,15	1:0,94
Keswick[3]	S. 43	W.	0,244	1:1,60	1:2,05
Königsberg[4] . . .	S. 71	W.	. . .	. . .	. . .
Kopenhagen . . .	S. 63	W.	0,158	1:1,53	1:1,33
Laihela[5]	S. 66	W.	0,120	1:1,54	1:1,22
Lancaster[6]	S. 35	W.	0,308	1:1,70	1:2,50
London[7]	S. 77	W.	0,174	1:1,69	1:1,15
Lüneburg[8]	S. 85	W.	0,317	1:2,04	1:1,17
Madera	N. 20	O.	0,463	1:0,53	1:0,10
Mailand[9]	N. 61	O.	0,088	1:0,82	1:0,89
Manchester[10] . . .	S. 42	W.	0,411	1:2,33	1:1,65
Mannheim[11] . . .	N. 65	W.	0,047	1:1,15	1:2,44
Mifflin[12], Fort . .	S. 55	W.	0,184	1:1,50	1:1,37
Montmorenci[13] . .	N. 48	W.	0,162	1:1,56	1:0,71
Moscau[14]	N. 80	W.	0,127	1:1,53	1:0,94
Moultrie[15], Fort .	S. 65	O.	0,280	1:0,42	1:1,41
Mühlhausen . . .	W		0,260	1:1,92	1:0,91

1 Beob. von 1788 bis 1792, aus Dalton's meteor. essays in Schouw Beitr. S. 35.

2 Nach 2jähr. Beobacht. S. Dove in Poggendorff's Ann. XV. 67.

3 Ebendaselbst.

4 Aus eilfjährigen Beob. von Sommer. Nach Dove in Poggendorff's Ann. XIII. 585.

5 Beob. von 1751 bis 1754 von Stjerwal in Schwed. Abh. Th. XX. S. 120.

6 Beob. von 1816 bis 1822 von Heaton aus Ann. of Phil. in Schouw Beitr. a. a. O.

7 Beob. von 1807 bis 1818 aus Howard Climate of London in Schouw Beitr. a. a. O.; von 1819 bis 1822 in Daniell meteorol. Essays; von 1776 bis 1781 und 1787 bis 1789 in Philos. Trans.

8 Beob. von 1818 bis 1826 von Rauschenbusch in Kastner's Arch. Th. I. S. 196.

9 Beob. von 1763 bis 1817 auf d. Sternwarte, nach Cesaris in Memorie della Soc. Ital. T. XVIII. p. 73.

10 Beob. von 1819 bis 1821 von Hanson. Aus Ann. of Philos. in Schouw Beitr.

11 Beob. von 1781 bis 1792 von Hemmer in Mannh. Ephem.

12 In Delaware. Beob. von 1823 u. 1824 bei Lovell a. a O.

13 Beob. von 1768 bis 1782 in Cotte Mém. T. II. p. 456.

14 Beob. von 1785 bis 1789, von 1791 bis 1793 von Stritter in Mannh. Ephem.

15 Bei Charlstown. Beob. von 1823 u. 1824 bei Lovell a. a. O.

Orte	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
München[1]	S. 59° W.	0,305	1 : 2,20	1 : 2,44
New-Malton[2] . .	S. 82 W.	0,149	1 : 1,69	1 : 1,08
Nicolajeff[3]	N. 24 O.	. . .	. . .	. . .
Ofen[4]	N. 70 W.	0,256	1 : 2,15	1 : 0,69
Padua[5]	N	0,337	1 : 1,01	1 : 0,34
Paris	S. 68 W.	0,214	1 : 1,98	1 : 1,28
Peissenberg[6] . . .	S. 43 W.	0,165	1 : 1,32	1 : 1,59
Penzance[7]	N. 86 W.	0,138	1 : 1,55	1 : 0,95
Petersburg[8] . . .	N. 67 W.	0,100	1 : 1,33	1 : 0,86
Prag[9]	S. 74 W.	0,383	1 : 3,51	1 : 1,43
Regensburg[10] . . .	N. 31 W.	0,164	1 : 1,22	1 : 1,07
Rochelle[11]	N. 72 W.	0,073	1 : 1,21	1 : 0,92
Rio-Janeiro . . .	S. 39 W.	0,377	1 : 1,39	1 : 1,37
Rom[12]	N. 61 W.	0,149	1 : 1,80	1 : 0,93
Sagan[13]	S. 30 W.	0,218	1 : 1,48	1 : 1,77
Severn[14], Fort . .	S. 49 W.	0,039	1 : 1,12	1 : 0,95
Simpheropol[15] . .	S. 71 O.	0,227	. . .	. . .
Skagen[16]	S. 63 W.	0,171	1 : 1,49	1 : 1,57
Snelling[17] Fort .	S. 81 W.	0,230	1 : 2,18	1 : 1,10
Söndmör[18]	S. 59 W.			

1 Beob. von 1781 bis 1792 von Hüpbauer in Mannh. Ephem.

2 Beob. von 1819 bis 1822 und von 1824 u. 1825 von Stockton in Ann of phil. nach Schouw a. a. O.

3 Nach Kupffer in Mém. de Petersb. VIme Ser. T. II. p. 215.

4 Beob. von 1782 bis 1792 von Weiss und Bruna in Mannh. Ephem.

5 Beob. von 1781 b. 1792 von Toaldo u. Chiminello in Mannh. Ephem.

6 Beob. von 1781 bis 1792 von Fischer, Schlögel und Schwaiger in Mannh. Ephem.

7 Beob. von 1807 bis 1827 von Giddy in Philos. Mag. and Ann. T. III. p. 173.

8 Beob. von 1772 bis 1792 von J. A. Euler in Nov. Act. Acad. Petrop. T. IX. p. 393. Nach Schouw a. a. O.

9 Beob. von 1781 bis 1787 u. 1789 bis 1791 von Strnadt in Mannh. Ephem.

10 Beob. von 1783 bis 1786 und 1788 bis 1790 von P. Heinrich in Mannh. Ephem.

11 Beob. von 1783 bis 1790 von Seignetti. Ebend.

12 Beob. von 1782 bis 1792 von Calandrelli. Ebend.

13 Beob. von 1781 bis 1792 von Preuss. Ebend.

14 In Maryland. Beob. von 1822. Bei Lovell.

15 Nach Kupffer in Mém. de Petersb. VIme Ser. T. II. p. 215.

16 Beob. von 1815 bis 1822. Nach Schouw a. a. O.

17 Am Missisippi. Beob. von 1822 bis 1824. Bei Lovell a. a. O.

18 Nach Dove in Poggendorff's Ann. XIII. 585.

Orte	Richtung	Stärke	östl. zu westl.	nördl. zu südl.
St. Augustine[1] . . .	N. 62° O.	0,397	1,0,31	1,0,64
Southwick[2]	S. 77 W.	. . .	. . .	. . .
Stevns Leuchthurm[3]	S. 70 W.	0,187	1:1,75	1:1,27
Stockholm[4]	S. 77 W.	0,134	1:1,46	1:1,13
Strassburg[5]	S. 47 O.	. . .	. . .	. . .
Stuttgart[6]	W. 19 N.	. . .	1:1,01	1:0,84
Sullivan, Fort[7] . . .	S. 86 W.	0,268	1:3,12	1:0,94
Tambow[8]	S. 68 W.	. . .	. . .	. . .
Tegernsee[9]	N. 84 W.	0,107	1:1,44	1:0,94
Toulouse[10]	N. 62 W.	0,237	1:1,59	1:0,71
Tunis	N. 14 W.	0,221	1:1,17	1:0,51
Uhleaborg[11]	S. 1 O.	0,079	1:0,89	1:1,27
Upsala[12]	S. 65 W.	0,224	1:2,94	1:1,35
Utrecht[13]	N. 85 W.	0,110	1:1,38	1:0,99
Viborg[14]	S. 76 W.	0,270	1:2,15	1:1,23
Washington[15] . . .	N. 76 W.	0,156	1:1,72	1:0,89
Wexiö[16]	S. 34 W.	0,228	1:1,46	1:1,98
Wilna[17]	S. 60 W.	0,240	1:1,71	1:1,24
Wollcot, Fort[18] . .	S. 84 W.	0,287	1:2,73	1:1,14
Würzburg[19]	S. 73 W.	0,235	1:2,44	1: 0,9

1 In Florida. Beob. im Jahre 1825. Bei Lovell a. a. O.

2 Nach Dove in Poggendorff's Ann. XIII. 585.

3 Beob. von 1818 bis 1822. In Schouw's Beitr.

4 Beob. von 1783 bis 1792 von Nicander in Mannh. Ephem.

5 Nach Dove in Poggendorff's Ann. XIII. 585. Aus 15jähr. Beobachtungen von Herrenschneider.

6 Beob. von 1825 bis 1833. Nach Plieninger Beschreibung von Stuttgart. Stuttg. 1834. gr. 4. S. 53.

7 In Maine. Beob. von 1822 bis 1825 bei Lovell a. a. O.

8 Nach Kupffer in Mém. de Petersb. VIme Ser. T. II. p. 215.

9 Beob. von 1781 bis 1789 von Gotthard und Donaubauer in Mannh. Ephem.

10 Beob. von 1768 bis 1782 von Cotte, in dessen Mém. T. II. p. 456.

11 Beob. von 1776 bis 1787 von Julin. In Neue Abh. d. Schwed. Acad. vom Jahre 1789. Th. X. S. 104.

12 Beob. von 1748 bis 1756 von Ferner. In den Schwed. Abhandl.

13 Beob. von 29 Jahren in Gehler's Wört. a. A. Th. IV. S. 761.

14 Beob. v. 1759 u. 1760 von Sören Thestrup in Schouw Beitr. a. a. O.

15 Beob. von 1823 bis 1825 von Little. Bei Lovell a. a. O.

16 Beob. von 1815 u. 1816 von Heurlin in Kongl. Vetens. Acad. Handl. 1816 u. 1817.

17 Beob. v. 1770 u. 1771, einjähr. von Poczobut in Cotte Traité. p. 306.

18 Bei Newport. Beob. von 1822 bis 1825. Bei Lovell a. a. O.

19 Beob. von 1781 bis 1788 von Egel in Mannh. Ephem.

71) Vorzugsweise ist das *allgemeine Drehungsgesetz* der Winde in Europa neuerdings ein Gegenstand gründlicher Untersuchungen geworden, dem wir daher hier einige Aufmerksamkeit widmen müssen. Es herrscht die sehr weit verbreitete Ansicht, dafs sich der Wind von Nord durch Ost, Süd und West zu drehn pflege; man nimmt dieses als Regel an, und setzt dabei meistens voraus, dafs die Witterung minder veränderlich sey, und regelmäfsiger von der regnerischen zur heiteren übergehe, wenn der Wind sich in der angegebenen Richtung dreht, als wenn er die entgegengesetzte einschlägt. Vorläufig mufs bemerkt werden, dafs man dabei blofs Europa, hauptsächlich aber den Theil desselben unter mittleren Breiten berücksichtigte, wo die Windverhältnisse genauer bekannt waren. Der Satz ist wohl ohne Zweifel zuerst durch Baco [1] von Verulam aufgestellt worden, welcher bemerkt hatte, dafs der Wind seltener, oder nur auf kurze Zeit zurückkehrt, wenn er sich mit der Sonne, d. h. von Ost nach Süd, West und Nord dreht, als wenn er in der entgegengesetzten Richtung sich bewegt. Ohne, wie es scheint, diese Autorität zu kennen, mindestens ohne sich auf dieselbe zu berufen, entnahmen verschiedene ältere Physiker die nämliche Regel aus den ihnen zu Gebote stehenden Beobachtungen [2]. Unter andern bemerkt Mariotte [3], dafs der Wind in Frankreich gewöhnlich sich von O. nach S. und SW., dann nach W., nach N. und NO. wende, selten aber in entgegengesetzter Richtung. Weit bestimmter drückt sich Sturm [4] hierüber aus, indem er sagt, dafs nach seinen vieljährigen Beobachtungen der Westwind nach Norden, dann nach O. und nach Süd übergehe, um von hier aus wieder nach W. zu gelangen; wenn er sich aber entgegengesetzt von hier nach S. drehe, so erreiche er in dieser Richtung selten O., um so weniger aber durchlaufe er in derselben jemals

---

1 Hist. naturalis et experimentalis de Ventis. Lond. 1664. Dafs schon Aristoteles Meteor. Lib. III. bemerkte, der Wind folge dem Laufe der Sonne, möge hier nur beiläufig erwähnt werden. Dafs er hierbei nicht an das Drehungsgesetz dachte, ist nach §. 1 mindestens sehr wahrscheinlich.

2 Vergl. Dove in Poggendorff's Ann. XXXVI. 331.

3 De la nature de l'air. In Oeuvres. Leide 1717. 4. p. 161.

4 Physica electiva sive hypothetica. T. II. p. 1206.

einen ganzen Kreis. Nach LAMPADIUS[1] sind die Drehungen des Windes bei uns häufiger von der Linken zur Rechten, als umgekehrt, und die Regel ist, daſs der Wind von Nord durch Ost, Süd und West wieder nach Nord übergeht, indem es jedes Jahr zu jeder Jahreszeit mehrere Perioden solcher Drehungen giebt, die zuweilen ganze Wochen, zuweilen nur einige Tage dauern und in denen der Wind selten zurückspringt. Zugleich betrachtet er[2] dieses Gesetz als wesentlich zur Vorherbestimmung der Witterung, denn hierauf beruht die von ihm sogenannte regelmäſsige Periode, in welcher der Wind durch Süd mit heiterem Wetter nach West übergeht, worauf Regen erfolgt, und einige Zeit anhält, bis er sich nördlich wendet und wieder heiteres Wetter folgt. Eine unregelmäſsige Periode dagegen nennt er die, wenn der Westwind bald nach Nord, bald nach Süd abweicht, zu welcher Zeit dann alle Witterungsregeln trügen. SCHÜBLER[3] bemerkt bloſs beiläufig, daſs die Drehung der Winde in Deutschland in der angegebenen Ordnung häufiger erfolge, als in der umgekehrten. Eins der gewichtigsten Zeugnisse aber ist das von POITEVIN[4], welcher aus, 35 Jahre zu Montpellier angestellten, Beobachtungen folgert, daſs vorzugsweise die heftigen Süd- und Südwestwinde, die zugleich mit Regen begleitet zu seyn pflegen, durch SW. und W. nach NW. gelangen, und sich daselbst festzusetzen pflegen, die Nord- und Nordostwinde in Süd- und Südwestwinde übergehn, Nordwinde aber sich selten nach NW. wenden. Nach DUDEN[5] findet ein ähnliches Verhalten in Nordamerica statt, indem der Wind innerhalb zehn bis zwanzig Tagen in der angegebenen normalen Richtung einen ganzen Kreis durchläuft; dreht er sich dagegen in entgegengesetzter Richtung, so dauert dieses nur 12 bis 24 Stunden.

Für die südliche Halbkugel giebt es ungleich weniger Beobachtungen, als für die nördliche, dennoch aber ist ein da-

---

1 Systematischer Grundriſs der Atmosphärologie. Freyberg 1806. S. 189.

2 Beiträge zur Atmosphärologie. Freyb. 1817. S. 11.

3 Grundsätze der Meteorologie. Leipzig 1831. S. 28.

4 Climat de Montpellier. p. 65. Nach DOVE in Poggendorff's Ann. XV. 55.

5 Reise nach den westlichen Staaten Nordamerica's. S. 200. Nach KÄMTZ Meteorologie. Th. I. S. 257.

selbst herrschendes, aber umgekehrtes Verhalten der Aufmerksamkeit der Seefahrer nicht entgangen. Don Ulloa[1] sagt ausdrücklich, der Wind im südlichen stillen Oceane setze sich nie in NO. fest, und gehe niemals von dieser Richtung zu O. über, seine Veränderung sey vielmehr stets nach W. oder SW., dem genau entgegengesetzt, was man auf der nördlichen Halbkugel wahrnimmt. Auf beiden Halbkugeln erfolge die Veränderung der Windesrichtung mit dem Laufe der Sonne, auf der nördlichen von O. nach S. und dann nach W., auf der südlichen von O. nach N. und dann nach W. Ebenso bemerkt Le Gentil[2], er habe wahrgenommen, was auch von andern schon bemerkt worden sey, dafs die Winde auf der südlichen Halbkugel die auf der nördlichen herrschende Regel nicht befolgen, denn auf dieser durchlaufen sie den Compafs in der Richtung von N. durch NO. nach O. und SO. bis S. u. s. w., auf jener aber in der entgegengesetzten Richtung. Stürme und einzelne Windstöfse scheinen diesem Gesetze nicht unterworfen zu seyn, dessen Ursache die Physiker noch nicht aufgefunden haben. Eine Bestätigung dieser Thatsache erhielt Dove von dem preufsischen Schiffscapitaine Wendt, welcher sich dabei namentlich auf seine Erfahrungen am Vorgebirge der guten Hoffnung und am Cap Horn bezog.

72) Wie man hieraus ersieht, war die Thatsache seit geraumer Zeit genügend bekannt, niemand versuchte aber mit glücklichem Erfolge dieselbe vollständig zu erklären und mit den allgemeinen Bewegungsgesetzen unserer Atmosphäre in causale Verbindung zu setzen, bis dieses neuerdings durch Dove auf eine sehr genügende Weise geschehn ist. Ehe wir uns indefs mit den durch ihn gefundenen Resultaten bekannt machen, wird es zweckmäfsig seyn, dasjenige zu überblicken, was O. Eisenlohr[3] in dieser Beziehung aus 44jährigen Beobachtungen zu Carlsruhe abgeleitet hat, wobei man sich des Wunsches nicht enthalten kann, dafs viele solche sichere Thatsachen vorhanden seyn möchten, um ein bestimmtes Gesetz daraus

---

1 Voyage to South America. T. I. p. 8. Dove in Poggendorff's Ann. XXXVI. 329. führt diese Zeugnisse an.

2 Voyage dans les Mers de l'Inde. T. II. p. 701.

3 Untersuchungen über den Einflufs des Windes u. s. w. Heidelb. 1837. S. 000.

abzuleiten. Zuerst zeigt eine Tabelle die auf 10000 reducirten Veränderungen der verschiedenen Winde aus 46665 Beobachtungen in der Art, daſs eine Veränderung angegeben ist, wenn der Wind bei der zweiten Beobachtung schon in eine andere Richtung übergegangen war. Es ergiebt sich hieraus, daſs die am häufigsten herrschenden Winde zugleich die beständigsten sind.

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	3789	2026	2880	5098	5000	1680	3458	4746
Februar	3646	2283	2492	6579	6020	1814	3784	5278
März	3854	2431	3938	7308	6489	2277	3960	5450
April	4028	3075	4172	7368	7172	2949	4175	6057
Mai	4324	3069	4033	8125	6444	2760	4003	6932
Juni	3918	3281	4153	8333	7273	2840	4131	6368
Juli	4238	3219	5115	6667	7355	2660	4082	5652
August	4524	3025	3633	7755	7895	2675	4160	6875
September	4588	2553	3406	7500	6633	2404	3529	5946
October	4949	2398	3569	5506	5822	2587	3768	6000
November	3535	2352	2730	7045	5323	1851	3816	6500
December	3590	1780	1951	8000	4874	1523	3175	4812
Winter	3684	2015	2446	6228	5284	1661	3471	4930
Frühling	4081	2837	4049	7679	6677	2654	4049	6116
Sommer	4181	3176	4186	7394	7523	2720	4121	6248
Herbst	4366	2431	3240	6358	5870	2250	3691	6084
Jahr	4094	2581	3387	6876	6343	2296	3872	5931

Eisenlohr stellt ferner die Drehungen der Winde nach der Gröſse des durchlaufenen Bogens in mehreren Tabellen zusammen; es wird aber für unsern Zweck genügen, nur die Summen dieser Drehungen in den verschiedenen Jahreszeiten und im ganzen Jahre hier anzugeben. Dabei bezeichnet *normale* Drehung die von Baco als die häufigste angegebene, wenn der Wind von S. nach W., dann nach O. u. s. w. übergeht, *abnorme* dagegen, wenn er sich von S. durch SO.; O.; NO. u. s. w. bewegt.

Summe der normalen Drehungen:

Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
934	1361	1476	1170	4941

Summe der abnormen Drehungen:

Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
852	1237	1377	1072	4538

Hiernach ist das Verhältniſs der abnormen Drehungen zu den normalen nicht gröſser als 1 : 1,0888 oder = 1 : 1,09, wonach also die normalen nur um höchstens 0,1 die abnormen übertreffen. Dieses Resultat scheint mir aber in gewisser Beziehung ein unrichtiges zu seyn, weil die bleibenden stärkeren Drehungen mit vorübergehenden partiellen vereint sind. Nicht selten, wo nicht meistens, pflegt der Wind seine Richtung auf kurze Zeit zu ändern und eine entgegengesetzte anzunehmen, namentlich wenn er in seiner mittleren Richtung, also im vorliegenden Falle aus West, mit einer geringen Abweichung nach Süd weht, ohne jedoch seine normale Drehung im Ganzen zu ändern. Dieses ergiebt sich deutlich aus einer Zusammenstellung der Drehungen durch kleinere und gröſsere Bogen, wie diese von Eisenlohr mitgetheilt ist. Hiernach war die Summe der

normalen Drehungen			abnormen Drehungen		
durch	45°	. . . 2140	durch	45°	. . . 2183
—	90	. . . 938	—	90	. . . 886
—	135	. . . 855	—	135	. . . 805
—	180	. . . 1008	—	180	. . . 664

Das Verhältniſs der abnormen Drehungen zu den normalen ist also für 55° ein umgekehrtes, nämlich = 1,02 : 1 und muſs daher das Verhältniſs der Gesammtsumme verrücken; bei 90° stellt sich dagegen schon die Sache richtiger heraus, und ebenso für 180°, wo das Verhältniſs der abnormen Drehungen zu den normalen = 664 : 1008 oder = 1 : 518 ist, so daſs die normalen Drehungen die abnormen um mehr als ein Drittel übertreffen. Vermöge eines so gewichtigen Beweises dürfen wir an der Richtigkeit des *Baco'schen Gesetzes* nicht mehr zweifeln, um so weniger, da auch die zwar nur einjährigen, aber stündlich angestellten Beobachtungen zu Apenrade[1] das Verhältniſs der abnormen Drehungen zu den normalen = 457 : 559, also = 1 : 1,223, mithin die letzteren fast ein Viertel gröſser angeben.

---

1 Collectanea meteorologica cet. Hafn. 1829. 4. p. 222.

73) Der kühne Capitain John Ross[1], welcher die Wissenschaft durch eine Menge, aller Schwierigkeiten ungeachtet mit ausdauernder Anstrengung angestellter, Beobachtungen bedeutend bereichert hat, theilt auch ein Register der Windrichtungen mit, worin mit seltener Vollständigkeit die Bezeichnung der herrschenden Winde, ihre Stärke und die Zeit ihrer jedesmaligen Dauer aufgezeichnet sind. Der bloſse Anblick dieser Tabellen giebt die lebendigste Ueberzeugung von der unglaublichen Veränderlichkeit der Winde in jenen Gegenden, die es der groſsen Vollständigkeit der Aufzeichnung ungeachtet unmöglich macht, die Drehungen des Windes mit völliger Sicherheit aufzufinden. In dem ganzen Zeitraume vom 1sten Oct. 1829 bis zum letzten März 1832 blieb der Wind nur 55mal während 24 Stunden unverändert, nicht selten aber kommen 8, 10, 12 und sogar 14 Veränderungen auf 24 Stunden. Auſserdem springt der Wind nicht selten unmittelbar in die entgegengesetzte Richtung über, und es bleibt daher völlig ungewiſs, ob dieses durch eine normale oder abnorme Drehung geschehn ist, unsicher aber ist dieses auch dann, wenn er nicht um volle 180 Grade, sondern z. B. von S. nach NNO. oder NNW. überspringt, und das Resultat, zu welchem man gelangen kann, darf daher nur als ein genähertes gelten. Eine unter dieser Voraussetzung wahrscheinlich richtige Zählung von 3167 Aenderungen giebt für Felix Harbour unter 70° nördl. B. und 91° 53′ westl. L. von G. 1499 normale und 1668 abnorme Drehungen, wenn wir diejenigen normal nennen, welche mit dem Laufe der Sonne, also von O. durch S., W. und N. erfolgen, abnorm aber diejenigen, welche diesem entgegengesetzt sind. Hiernach würde also das Gesetz der normalen Drehung der Winde bloſs bis zum Polarkreise gelten, von hier an aber in ein entgegengesetztes verwandelt werden, und es scheint mir dieses mit der Theorie vollkommen übereinzustimmen, wie ich demnächst (§. 88 ff.) zu zeigen hoffe.

74) Dove[2] ging bei seinen lange Zeit mit groſser Beharrlichkeit fortgesetzten Untersuchungen ursprünglich von demje-

1 Appendix to the Narrative of a second Voyage in Search of a North-West-Passage, and of a Residence in the arctic Regions cet. Lond. 1835. 4. Meteorology.

2 Poggendorff's Ann. XIII. 583.

nigen aus, was LAMBERT[1] durch die Berechnung der mittleren Windrichtungen aufgefunden hatte, daſs nämlich die zu Petersburg herrschende eine nordöstliche sey, wenn sie in Berlin und Drontheim eine südwestliche ist, wonach also zwei entgegengesetzte Luftströmungen in Gegenden von fast gleicher Breite, aber ungleicher Länge gleichzeitig statt finden müssen. Hiermit läſst sich das Resultat verbinden, welches L. v. BUCH aus seinen Beobachtungen auf den canarischen Inseln aufgefunden hat, nämlich daſs höchstwahrscheinlich der Südwestwind über dem westlichen Europa der bei den canarischen Inseln herabsinkende obere Passat sey, welcher, wenn der untere (NO.)-Passat der sich mehr nach Süden wendenden Sonne folgt, stets weiter nach Süden in die Nähe der Erdoberfläche gelangt, und über dieser hin den Polen zuströmt[2]. Hiernach würden also der untere und obere Passat der äquatorischen Zone, welche dort über einander hinströmen, unter höheren Breiten neben einander flieſsen. Daſs dieses wirklich der Fall sey, sucht DOVE aus den gröſstentheils von SCHOUW mitgetheilten Beobachtungen der mittleren Windrichtungen darzuthun, woraus allerdings hervorgeht, daſs die im westlichen Europa bei weitem zahlreichsten südwestlichen Windrichtungen mit zunehmender östlicher Länge mehr nördlich werden. Wenn wir aber die in der vorstehenden Tabelle mitgetheilten Bestimmungen zum Grunde legen, so finden wir bloſs zu Nicolajeff den NO. herrschend, welcher also dem rückkehrenden SW.-Winde geradezu entgegengesetzt zu betrachten wäre; zu Petersburg dagegen, und selbst zu Moscau, nach der Berichtigung durch KÄMTZ, ist der NW.-Wind noch vorherrschend. Inzwischen folgt hieraus bloſs, daſs die herrschende Windrichtung an diesen verglichenen Orten nicht geradezu eine entgegengesetzte ist,

---

1 Mém. de Berlin. 1777.

2 MITCHELL, welcher bei seiner Theorie der Winde gleichfalls das allgemeine Drehungsgesetz annimmt, ist auch der Meinung, daſs die Passate in den oberen Regionen rückwärts abflieſsen. Zum Beweise dienen ihm die bekannten Erfahrungen, welche L. v. BUCH auf den canarischen Inseln machte, und eine noch bestimmtere von GOODRICH. Dieser beobachtete nämlich nach Silliman Amer. Journ. T. IX. p. 4. auf dem Moona-Kea in 18000 Fuſs Höhe einen kalten SW.-Wind, während unten der NO.-Passat wehte. S. Silliman Amer. Journ. T. XIX. Edinb. New Phil. Journ. N. XXIII. p. 30.

dagegen aber findet sich eine wichtige Folgerung vollkommen bestätigt, welche Dove an das Theorem der neben einander strömenden entgegengesetzten Windrichtungen knüpft. Abgesehn von örtlichen Einflüssen, namentlich von der vielfach in diesem Werke besprochenen ungleichen Bodenwärme, wird die an denselben Orten zu verschiedenen Zeiten statt findende Wärme oder Kälte, erstere mit Nässe, letztere mit Trockenheit verbunden, durch die herrschende Windrichtung bedingt, und somit wird dann leicht erklärlich, dafs in manchen Jahren nasse und kalte Witterung an westlicher gelegenen Orten herrscht, wenn das entgegengesetzte Verhalten an den östlichern statt findet und umgekehrt. Wenn einmal solche entgegengesetzte Luftströmungen existiren, so folgt daraus von selbst, dafs in der Mitte zwischen beiden wirbelartig sich drehende Winde entstehn müssen, aus denen sich die oft vorkommenden Veränderungen der Winde in der einen und der entgegengesetzten Richtung erklären lassen; im Allgemeinen aber sollen nach Dove die südlichen Windrichtungen in der gemäfsigten Zone der nördlichen Erdhälfte über dem atlantischen Oceane und der Südsee, mit Einschlufs der Westküsten, die nördlichen dagegen über den asiatischen und americanischen Continenten vorzugsweise herrschen[1].

75) Gegen diese Hypothese erklärte sich Schouw[2], und zwar vorzüglich deswegen, weil sich die nordöstliche Windrichtung in Petersburg nicht findet, ja selbst in Bargusin im östlichen Sibirien und im Nertschinsk-Thale Nord- und Westwinde die herrschenden seyn sollen[3], wobei jedoch nicht in Abrede gestellt wird, dafs dieses Argument nicht entscheidend sey, weil Oertlichkeiten gerade an diesen Orten von überwiegendem Einflusse seyn können, ohne zugleich die nördlichen Luftströmungen im gesammten östlichen Rufslande auszuschliefsen. Die gröfsere Wärme der Westküste Europa's und America's glaubt Schouw gleichfalls aus dem Einflusse der West-

1 In Alex. Burnes Reisen in Indien und nach Bukhara. Stuttg. 1835. 8. finden sich viele diese Behauptung in Beziehung auf Asien bestätigende Angaben, welche im Einzelnen nachzuweisen mir die Zeit fehlt.

2 Poggendorff's Ann. XIV. 541.

3 Nach George's Reise im russischen Reiche. Th. I. S. 131. Vergl. Kämtz in allgem. Lit.-Zeit. 1828. S. 435.

winde an jener und der Nordostwinde an dieser nicht ableiten zu können, weil diese Ursache die hervorstechende Wärme der Sommer und die strenge Kälte der Winter nicht zu erklären vermöge, die sich ungleich leichter daraus folgern lasse, daſs in den östlicher gelegenen Orten die Winde in Folge ihrer im Allgemeinen westlichen Richtung über groſse Landstrecken herkommen, wo sie ihrer Feuchtigkeit beraubt sind[1]. In Beziehung auf den wesentlichsten Punct, nämlich die normale Drehung des Windes, stellt Schouw die zu Apenrade angestellten Beobachtungen entgegen. Daselbst war die Drehung

	normal	abnorm
Von O. (ONO. und OSO. inclus.)	97	77
— S. (SSO. — SSW. inclus.)	111	70
— W. (WSW. — WNW. inclus.)	152	133
— N. NNW. — NNO. inclus.)	56	59

Hierin ist allerdings die Zahl der normalen Drehungen im Ganzen überwiegend gröſser, und würde demnach hieraus gerade das Gegentheil des gesuchten folgen; allein es soll dann zugleich auffallend seyn, daſs für Nordwind das umgekehrte Verhältniſs statt findet, woraus Schouw die allerdings sinnreiche Folgerung entnimmt, daſs der Wind sich am meisten in derjenigen Richtung drehe, in welcher er zunächst zu der vorzugsweise herrschenden gelange. Weht diesemnach der Wind in O., so geht er in die herrschendere nach S. über, und aus S. zunächst nach W., weswegen er sich bloſs aus N. entgegengesetzt nach W. dreht. Inzwischen geht die Unhaltbarkeit dieser Hypothese aus den oben angegebenen Beobachtungen zu Carlsruhe hervor, wo Ostwind im Ganzen selten, die mittlere Richtung westlich ist, und von hier aus konnte die Drehung ebenso gut nach S. als nach N. erfolgen, die normale hat aber für gröſsere Bogen entschieden das Uebergewicht.

Zur Bestimmung der Windrichtungen benutzt Schouw die von ihm angestellten Beobachtungen der Regenverhältnisse. Hiernach tritt die Periode der häufigsten Regen zunehmend

---

1 Obgleich diese Ursache als mitwirkend gelten kann, so ist diese doch sehr unbedeutend gegen die Ungleichheit der Bodenwärme und der hierdurch erzeugten Erwärmung des Wassers, wie im Art. *Temperatur* überzeugend nachgewiesen worden ist.

später ein, je weiter man nach Süden geht. Da aber diese durch den herrschenden Südwind herbeigeführt wird, so läfst sich hiernach vermuthen, dafs die Zone, welche diesen Wind giebt, gleichfalls mit der Sonne weiter nach Süden rückt. Im Sommer erreicht die Zone des (NO.)-Passates die canarischen Inseln, und geht selbst noch über diese hinaus, über den Ländern am mittelländischen Meere herrschen Nordwinde, im nördlichen Europa südwestliche und westliche[1], im Winter fällt die Nordgrenze des Passates jenseits des Wendekreises, die Nordwinde erreichen den Wendekreis, und der herabsinkende Passat zeigt sich im südlichen Europa, dem nördlichen Africa und auf den canarischen Inseln. Die Westwinde während des Sommers im nördlichen Europa werden also theils durch den zurückkehrenden Passat, theils durch die Erwärmung des Bodens bedingt, welche eine Strömung von der See her veranlafst, im Winter dagegen herrscht zwar gleichfalls der rückkehrende Passat, allein die Nordgrenze desselben ist dem Wendekreise näher und die östlichen Winde besiegen ihn leichter, weil die Wärme über dem Meere gröfser ist, als über dem Lande[2]. Hiernach sind in Europa während des Sommers allerdings zwei Windrichtungen vorhanden, sie liegen jedoch nicht nach Dove in Ost und West, sondern in Süd und Nord, und im südlichen Europa liegt der Südweststrom über dem nördlichen. Es findet daher ein Kreislauf statt, aber kein horizontaler, sondern ein verticaler.

76) Inzwischen genügten die aufgestellten Argumente nicht, um Dove von der Unrichtigkeit seiner Hypothese zu überzeugen, vielmehr unterstützte er dieselbe mit neuen gewichtigen Argumenten[3]. Zwar fehlte es ihm für diesen Zweck an hinlänglich zahlreichen und zur Genüge genauen Beobachtungen, um dasjenige zu beweisen, was er ursprünglich aus eigenen zweijährigen Beobachtungen zu Königsberg gefolgert hatte, allein er brachte die eigentliche Aufgabe mit andern meteorologischen Erscheinungen in Verbindung, aus denen sich indirecte

---

1 Der Grund hiervon ist, weil die aufsteigende Luft des Passates über dem Nordwinde hinströmt und weiter nördlich herabsinkt.

2 Die oben §. 67. mitgetheilten Uebersichten der vierteljährigen Windrichtungen sind im Ganzen dieser Ansicht nicht günstig.

3 Poggendorff's Ann. XV. 53.

Beweise entnehmen lassen. Wie wir mit Sicherheit wissen, sind die durch südliche und südwestliche oder auch westliche Winde herbeigeführten Luftmassen warm und diesemnach mit Wasserdampf überladen, die durch östliche und nördliche herzuströmenden dagegen kalt und trocken; wenn beide zusammentreffen, müssen durch die Abkühlung der ersteren Niederschläge entstehn. Sind dann hierbei die nördlichen überwiegend stark, so dafs sie allmälig die Oberhand gewinnen und die Herrschaft erlangen, so wird während der Niederschläge, und zuweilen sogar schon vorher, das Thermometer herabgehn, das Barometer dagegen steigen, und die normale Drehung des Windes erfolgen, im entgegengesetzten Falle aber das Gegentheil statt finden. Hiernach giebt also das Thermometer und Barometer diejenige Richtung an, welche der Wind inne zu halten pflegt. Diesem gemäfs beweist Dove aus den zu Paris angestellten meteorologischen Beobachtungen, dafs das normale Drehungsgesetz des Windes allerdings auch an diesem Orte des westlichen Europa's statt findet. Genaue Beobachtungen der Windfahne und des Zuges der dickeren und feineren Wolken ergeben ferner, dafs es im nordwestlichen Europa zwei einander entgegengesetzte Windrichtungen giebt, im Allgemeinen eine nordöstliche und südwestliche, welche sich durch die ganze Atmosphäre erstrecken. Nennt man den einen den nördlichen, den andern den südlichen, so ergiebt sich aus den Beobachtungen, dafs das Verdrängen des südlichen Stromes durch den nördlichen zuerst in den unteren Gegenden der Atmosphäre, und dann auch in der oberen erfolgt, das Verdrängen des nördlichen Stromes durch den südlichen aber geschieht zuerst in den oberen, dann in den unteren. Wenn nun das normale Drehungsgesetz der Winde wirklich vorhanden ist, so werden die Extreme der Niederschläge, die durch die Verbindung dieser beiden Luftströme entstehn, nicht in die Puncte ihrer eigentlichen Richtung, also NO. und SW., sondern in O. und W. fallen, was aus den Beobachtungen zu Hamburg deutlich hervorgeht. Wenn endlich die angegebenen Hauptrichtungen der Luftströmungen wirklich existiren, so werden in diese die meisten Winde fallen, und die Zahl der letzteren wird abnehmen, so wie sie sich von jenen weiter entfernen. Eine Vergleichung der Mengen der Winde an 38 verschiedenen Orten scheint aber zu dem Resultate zu führen, dafs im westlichen

Europa die Hauptluftströmungen mehr in SW. und NO., im östlichen und nördlichen aber in W. und O. fallen.

77) Wir müssen den Fortgang der Untersuchungen Dove's einen Augenblick unterbrechen, um eine einschlagende Arbeit von Galle[1] zu erwähnen, wodurch dieser indirect die aufgestellte Hypothese unterstützt. Wird als erwiesen vorausgesetzt, daſs im Allgemeinen bei Südwinden das Barometer am niedrigsten, bei Nordwinden am höchsten steht, so darf man mit Recht schlieſsen, daſs der Wind von Ost sich nach Süd wendet, wenn das Barometer fällt, und von West nach Nord, wenn dasselbe steigt, und daſs also die normale Drehung des Windes existiren muſs, wenn beides in der Regel statt findet. Um letzteres zu zeigen, benutzt Galle die zu Danzig durch Kleefeld in den Jahren 1813 bis 1827 dreimal täglich angestellten Beobachtungen, und zeigt aus den Unterschieden der Barometerstände, daſs in der Regel der Wind aus O. durch SO. nach S. und W., von W. aber durch NW. und N. nach O. übergeht, ohne daſs in dieser Beziehung ein anderes Verhalten am Tage als bei Nacht statt findet.

79) Wie wir gesehn haben, bekannte sich Dove zum Anhänger des Drehungsgesetzes der Winde, und unterstützte dasselbe theils durch allgemeine Gründe, theils durch die directen und indirecten Resultate, die er aus seinen eigenen zweijährigen Beobachtungen zu Königsberg und aus denen an andern Orten entnahm. Hiernach können wir die Abhandlung[2], worin er die vorliegende Frage zum eigentlichen Gegenstande der Untersuchung wählt, hauptsächlich nur als einen weiteren Beitrag zur schärferen Bestimmung und näheren Erläuterung der ganzen Aufgabe betrachten. Eine ins Einzelne gehende Angabe, wie er die Drehung der, vom Pole zum Aequator strömenden und demnach fortdauernd zu Parallelkreisen von gröſserer Rotationsgeschwindigkeit gelangenden, Luftmassen aus diesen beiden auf sie wirkenden Kräften ableitet, eine entgegengesetzte Drehung aber für den zurückkehrenden Passat in den oberen Regionen folgert, und zugleich zeigt, daſs ein analoges Verhalten, aber im entgegengesetzten Sinne, auf der südlichen

1 Poggendorff's Ann. XXXI. 465.

2 Ueber den Einfluſs der Drehung der Erde auf die Strömungen ihrer Atmosphäre. In Poggendorff's Ann. XXXVI. 321.

Halbkugel statt finden müsse, können wir hier um so mehr übergehn, je deutlicher die Sache sich durch eine später mitzutheilende Darstellung dieses Verhaltens herausstellt. Das Hauptresultat, zu welchem Dove gelangt, ist folgendes:

a) In der nördlichen Erdhälfte dreht sich der Wind, wenn Polarströme und Aequatorialströme mit einander abwechseln, im Mittel im Sinne S., W., N., O., S., durch die Windrose, und springt zwischen S. und W., zwischen N. und O. häufiger zurück, als bei andern Richtungen.

b) In der südlichen Erdhälfte dreht sich der Wind, wenn Polarströme und Aequatorialströme mit einander wechseln, im Mittel im Sinne S., O., N., W., S., durch die Windrose, und springt zwischen N. und W., zwischen S. und O. häufiger zurück. Hieraus folgt dann:

α) Wo in der tropischen Zone nur Polarströme an der Oberfläche herrschen, giebt es keine vollständige Drehung, sondern eine der Entfernung des Beobachtungsortes von der äufsern Grenze des Stromes proportionale unveränderte Ablenkung, welche durch die Veränderung dieser Grenze in Folge der Jahreszeiten etwas modificirt wird. Dieses sind die *Passate*.

β) Wo in der tropischen Zone durch die eigenthümliche Vertheilung des Festen und Flüssigen der Erde einmal im Jahre ein südlicher Strom mit einem nördlichen abwechselt, giebt es nur eine Drehung im ganzen Jahre. Dieses sind die *Mussons*.

γ) In den gemäfsigten und wahrscheinlich auch in den kalten Zonen, wo Aequatorialströme fortwährend mit Polarströmen abwechseln, dreht sich der Wind im Mittel, und zwar öfters, in einem bestimmten Sinne durch die Windrose, auf der nördlichen Halbkugel aber gerade im entgegengesetzten Sinne, als auf der südlichen. Dieses giebt dann das *Gesetz der Drehung*.

79) Die wirkliche Existenz dieses Gesetzes beweist Dove zuerst direct aus den oben (§. 71) bereits angegebenen Zeugnissen, aufserdem aber indirect aus den Veränderungen der meteorologischen Werkzeuge, aus denen sich diese Drehungen folgern lassen. Berücksichtigt man zuerst das Barometer, so mufs dasselbe bei O.-, SO.- und Südwinden fallen, bei SW.-Winden in Steigen übergehn, und bei West- und Nordwestwinden steigen. Dafs dieses wirklich erfolge, und zwar un-

abhängig von der täglichen und jährlichen Periode, ergiebt eine Zusammenstellung der Beobachtungen zu Paris, London und Danzig. Aus den zu Paris von 1816 bis 1820 gemessenen Temperaturen geht ferner hervor, dafs das Thermometer bei O.–, SO.– und S.–Winden steigt, bei SW. zum Fallen übergeht, bei W.– und NW.–Winden aber fällt, was gleichfalls für die Existenz des genannten Gesetzes entscheidet. Vorzügliche Beachtung verdient aber dasjenige, was Dove weiter aus eigenen Beobachtungen folgert. Hauptsächlich im Winter, wo die Witterung fast ausschliefslich durch die Windrichtungen bedingt wird, nahm derselbe wahr, dafs bei SW.– und NO.–Winden die untere Windrichtung mit dem Zuge der höchsten Wolken zusammenfällt, bei W.– und NW.– bei O.– und SO.–Winden dagegen die Richtung der Windfahne und der unteren dichteren Wolken mit der der oberen rechte Winkel bildet. Wenn ferner nach einem barometrischen Minimum bei SW. der Wind durch W. nach NW. herumläuft, so rücken am westlichen Horizonte dunkle Wolken herauf, vor denen ein kalter Wind vorausgeht, welcher das Barometer steigen macht, und im Winter Schnee, im Frühling Graupelschauer und im Sommer Gewitter bringt. Sieht man dabei durch die Zwischenräume die höchsten Federwolken, so bemerkt man, dafs sie ihre Richtung von SW. nach NO. ungestört beibehalten; das Barometer steigt sprungweise, die unteren Wolken erheben sich mehr, bis die Wolkendecke bricht. Ebenso verschwinden bei raschem Durchgange des Windes durch N. nach NO. die obersten feinen Wolken, die Windfahne bleibt in NO. stehn, der Himmel wird heiter und das Barometer, so wie auch die Kälte, haben ihr Maximum erreicht. Fällt dann das Barometer, so erscheinen auch in den höchsten Regionen die feinen Wolken, bewegen sich in der Richtung von S. oder SW. nach N. oder NO., der Himmel wird trübe nnd milchig, wie zu der Zeit, wenn Höfe um Sonne und Mond entstehn, die als sichere Vorboten nasser Witterung gelten, und die Windfahne geht bei fallendem Barometer von O. nach SO. über, so dafs sie mit der Richtung des Cirrus einen rechten Winkel bildet. Befinden sich dickere Wolken in den unteren Regionen, so werden sie allmälig von dem Cirrus aufgenommen, und im Winter fällt Regen, wenn der Boden noch hart gefroren ist. Die Windfahne geht rasch durch S. nach SW., und es

tritt stürmisches, regnerisches Wetter ein. Hieraus läfst sich also folgern, dafs es zwei einander entgegengesetzte Winde giebt, welche durch die ganze Atmosphäre hindurchgehn. Dove nennt diese *Luftströme*, und zwar einen südlichen und einen nördlichen; die Erscheinungen der Westseite gehören zu einem Uebergange des südlichen Stromes in den nördlichen, wobei das Verdrängen des südlichen Stromes durch den nördlichen in den unteren Regionen anfängt, die Erscheinungen der Ostseite dagegen bestehn in einem Uebergange des nördlichen Stromes in den südlichen, wobei das Verdrängen des nördlichen durch den südlichen zuerst in den oberen Regionen beginnt.

Es liegt vor Augen, dafs der Grund dieser Erscheinung in dem Wärme-Unterschiede beider Ströme, der hieraus folgenden ungleichen Dichtigkeit und, was sich wohl von selbst versteht, ihrem verschiedenen Gehalte an Wasserdampf zu suchen sey. Daher sind die Niederschläge um so stärker, je rascher die entgegengesetzten Luftströme einander verdrängen. Soll dieses durch den südlichen geschehn, so mufs es von oben herab beginnen, weil er in den oberen Regionen der äquatorischen Zone seinen Ursprung hat, wird der südliche aber durch den nördlichen verdrängt, so geschieht dieses mit grofser Heftigkeit, indem der letztere, zugleich der schwerere, den ersteren leichteren in die Höhe hebt; es erheben sich heftige Stürme, bei denen der Wind von SW. durch W. nach NW. übergeht, und erst Ruhe eintritt, wenn er nach N. gelangt ist. Inwiefern hierdurch das Barometer und Thermometer afficirt und der Gang der Witterung bedingt wird, läfst sich aus dem allgemeinen Charakter dieser Luftströme leicht entnehmen. Liegen beide Ströme einander gerade gegenüber, so stauen sie sich auf, und wenn keiner derselben eine überwiegende Stärke hat, so entstehn dichte Nebel, die zuweilen wieder verschwinden, je nachdem der gegebene Ort die Grenze des Zusammenstofsens beider Ströme, oder einer derselben einzeln trifft. Aus dem Conflicte beider lassen sich die häufigen barometrischen Schwankungen leicht erklären, so wie nicht minder der Umstand, dafs die hervorstechenden barometrischen Maxima und Minima nicht selten in kurzer Zeit auf einander zu folgen pflegen, weil ein schnell fliefsender Strom, hauptsächlich durch heftige Katastrophen in südlichen Gegenden erzeugt, endlich auf einen Widerstand stöfst und, durch Uebermacht zurückge-

drängt, später das vorher erzeugte Minimum wieder in ein Maximum verwandeln muſs.

80) Dove wendet diese einfach aus der polaren unteren und äquatorischen oberen Strömung entnommenen Gesetze bloſs auf Erfahrungen in der nördlichen Halbkugel an, bemerkt aber, daſs ein gleiches Verhalten mit entgegengesetzter Richtung auf der südlichen Halbkugel statt finden müsse, dessen wirkliches Vorhandenseyn sich aber wegen Mangels an genügenden Erfahrungen nicht mit gleicher Vollständigkeit nachweisen lassen. Diesen Mangel hat Galle[1] theilweile ersetzt durch die Zusammenstellung der Beobachtungen, welche durch den Capitain Wendt auf dem preuſsischen Schiffe Louise in den Jahren 1830 bis 1831 und 1833 auf der südlichen Halbkugel bei der Umschiffung des Cap Horn, und auf der nördlichen zwischen Hamburg und Rio de Janeiro angestellt worden sind. Da ähnliche Tabellen von Dove selbst, für einige Orte in Europa, in der hier gegebenen Uebersicht nicht aufgenommen sind, so werden die folgenden drei, auch des Beispiels wegen, um so eher einen Platz verdienen. Um dieselben zu verstehn, darf man nur folgendes bemerken: wenn das Barometer auf der nördlichen Halbkugel zwischen SW. und W. sein Minimum, zwischen SO. und O. sein Maximum hat, so müssen diese Extreme auf der südlichen zwischen NW. und W. und zwischen SO. und O. liegen, folglich auf der südlichen Halbkugel unter der Voraussetzung, daſs auch dort zwei Hauptströme existiren, und die regelmäſsige Drehung des Windes bedingen, das Barometer bei SW. ebenso zu steigen beginnen, als auf der nördlichen bei NW., nicht minder aber bei NO ebenso zu fallen anfangen, als auf der nördlichen bei SO. Dieses vorausgesetzt darf man nur das Steigen durch + und das Fallen durch — bezeichnen, um sich zu überzeugen, welchen Winden das eine oder das andere dieser beiden zugehört.

---

1 Poggendorff's Ann. XXXVIII. 472.

Südliche Halbkugel.

Wind	Mittel aus 2 Monaten Barometer	Mittel aus 2 Monaten Veränderung	Mittel aus 6 Monaten Barometer	Mittel aus 6 Monaten Veränderung
S.	29z,631	+ 0z,023	29z,334	+ 0z,052
SSW.	29,509	+ 0,021	29,243	+ 0,079
SW.	29,442	+ 0,012	29,208	+ 0,093
WSW.	29,407	+ 0,006	29,234	+ 0,048
W.	29,394	+ 0,001	29,289	— 0,044
WNW.	29,387	— 0,004	29,345	— 0,041
NW.	29,379	— 0,011	29,391	— 0,043
NNW.	29,368	— 0,016	29,414	— 0,042
N.	29,354	— 0,015	29,452	— 0,045
NNO.	29,375	— 0,016	29,503	— 0,041
NO.	29,541	— 0,028	29,547	— 0,021
ONO.	29,846	— 0,029	29,561	— 0,013
O.	29,967	— 0,015	29,567	— 0,001
OSO.	29,932	— 0,002	29,561	+ 0,002
SO.	29,867	+ 0,010	29,527	+ 0,009
SSO.	29,750	+ 0,020	29,448	+ 0,025

Nördliche Halbkugel.

Wind	Mittel aus 20 Tagen Barometer Werth	Mittel aus 20 Tagen Veränderung
S.	337''',37	—0''',122
SSW.	337,31	— 0,117
SW.	336,99	— 0,047
WSW.	337,14	+ 0,031
W.	337,28	+ 0,088
WNW.	337,48	+ 0,141
NW.	337,85	+ 0,211
NNW.	338,27	+ 0,210
N.	338,42	+ 0,088
NNO.	338,45	— 0,048
NO.	338,50	— 0,095
ONO.	338,60	— 0,097
O.	338,50	— 0,084
OSO.	338,43	— 0,071
SO.	338,19	— 0,066
SSO.	337,94	— 0,082

Man könnte durch diese Uebersicht veranlafst werden anzunehmen, dafs das Drehungsgesetz sich auf der südlichen Halbkugel noch deutlicher herausstelle, als auf der nördlichen, was allerdings aus der geringeren Menge von Hindernissen erklärbar seyn dürfte, die den Luftbewegungen dort entgegenstehn.

81) Dove hat nach meiner Ansicht das Drehungsgesetz des Windes am bestimmtesten aufgefafst und am lichtvollsten erläutert in seiner neuesten Abhandlung über die Stürme[1]. Wenn man den seit Otto v. Guericke bekannten Zusammenhang der barometrischen Schwankungen mit den herrschenden Winden, insbesondere das Zusammenfallen tiefer Barometerstände mit heftigen Stürmen im Auge behält, so lassen sich auf einfache Weise die Wechsel der Luftströmungen aus einer Vergleichung gleichzeitiger oder unmittelbar auf einander folgender barometrischer Minima mit den an diesen Orten beobachteten Windrichtungen entnehmen. Betrachtungen dieser Art hatte bereits Brandes[2] angestellt, und aus zahlreichen Zusammenstellungen früherer Beobachtungen entnommen, dafs bei ungewöhnlich tiefen Barometerständen und darauf folgenden Stürmen die Richtungen der Winde an verschiedenen Orten nicht blofs ungleich, sondern häufig einander gerade entgegengesetzt waren. Schon weit früher hob Henry Forth[3] den ihm auffallenden Umstand hervor, dafs bei einem Sturme im Jahre 1735 die Windrichtung im südlichen Theile Englands südlich war, während er selbst zu Darlington bei Durham Nordostwind beobachtete. Die Wahrnehmungen, dafs während heftiger Stürme, namentlich unter niederen Breiten, die Windrichtung sich nicht blofs ändert, sondern häufig die ganze Windrose durchläuft, ja sogar nach plötzlich eintretender Windstille in umgekehrter Drehung durch alle Striche des Compasses herumläuft, dürfen als allgemein bekannt gelten, auch werden in der Folge einige vorzüglich auffallende Beispiele dieser Art angeführt werden. Später verglich Brandes[4] die an den

1 Poggendorff's Ann. LII. 1. London and Edinb. Philos. Mag. Nr. CXI. p. 367.

2 Beiträge zur Witterungskunde. S. 50. 74. 376 u. a. a. O.

3 Philos. Trans. abridged. T. VIII. p. 78.

4 De repentinis variationibus in pressione atmosphaerae observatis. Diss. phys. Lips. 1826. 4.

verschiedensten Orten bei dem heftigen Sturme um Weihnachten 1821 beobachteten Barometerstände mit den gleichzeitigen Windrichtungen, und gelangte dadurch zu dem Resultate, dafs es unbekannte Ursachen geben müsse, durch welche die Luftmasse in einer gewissen Richtung vermindert werde, indem man nicht wissen könne, ob sie namentlich bei jenem Sturme an den Küsten des atlantischen Oceans verschwunden sey, oder die Schlünde des Meeres sie aufgenommen; oder Platzregen, erzeugt durch die Gewalt der Blitze, ihre Masse vermindert hätten. Zur Erklärung der verschiedenen gleichzeitigen Windrichtungen an beiden Seiten dieser Linie der tiefsten Barometerstände, nahm er an, dafs die Luft von allen Seiten her in das durch unbekannte Ursachen erzeugte, und geradlinig fortschreitende, partielle Vacuum eindringe. Inzwischen pafsten nicht alle Beobachtungen zu einer solchen auf einen Punct oder eine Linie lothrechten Richtung der Luftströmungen, und namentlich veranlafste der mit grofser Heftigkeit zu Venedig wehende Wind ihn zu der Vermuthung, dafs dieser durch einen ungeheuren Wirbel erzeugt seyn könne, welcher von Marseille aus über Corsica in den heftigen Strom sich ergossen habe. Wir können diese Hypothese, wonach die umgebenden Luftmassen in perpendiculärer Richtung in den luftverdünnten Raum fliefsen, die ältere nennen, die ohnehin auch am nächsten liegt, durch die bei gewaltigen Bränden sich darbietenden Strömungen nach einem gemeinschaftlichen Mittelpuncte eine bedeutende Stütze erhält (§. 15), und daher auch von allen Physikern, wie man wohl behaupten darf, früher angenommen wurde.

82) Inzwischen wurde die Aufgabe neuerdings einer sehr umfassenden und tief eindringenden Prüfung unterworfen. Veranlassung hierzu gaben die verschiedenen Ansichten, welche hauptsächlich Espy und Redfield über die Entstehung und das Verhalten der vorzugsweise in den südlichen Staaten Nordamerica's nicht selten herrschenden *Tornados* hegten. Von den furchtbaren Wirkungen dieser merkwürdigen Winde wird später (§. 99) die Rede seyn; hier genügt es aber, nur ihren Charakter im Allgemeinen und die Art ihrer Bewegung in so weit anzugeben, als dieses Beziehung auf das Gesetz der Drehung hat. Espy[1], welcher hartnäckig die ältere Hypothese

1 S. Babinet's Bericht in L'Institut 1841. N. 379. Vergl. Theory of

vertheidigte, wonach die Luft von allen Seiten lothrecht nach dem Mittelpuncte der Verdünnung strömt, hegte hierüber folgende Ansichten. Die Tornados haben die gröfste Aehnlichkeit mit den *Wettersäulen*, und sind wohl als eine specielle Art derselben zu betrachten. Wenn man die gleichzeitig erfolgten Zerstörungen, Umstürzungen der verschiedensten Gegenstände und ihre Fortführung, so wie die Verheerungen des Bodens betrachtet, welche die Hurricane anrichten, so erkennt man bald, dafs die Luft bei diesem Meteore sich von allen Seiten her gegen einen Mittelpunct bewegt, indem der Wind, wenn er von der einen Seite östlich war, an der andern, zuweilen nicht sehr weit entfernten, westliche Richtung hatte, in der Mitte aber ein Aufsteigen mit erstaunlicher Geschwindigkeit statt fand, wodurch die Luft zu einer durch das Barometer bestimmbaren unglaublichen Höhe emporgetrieben wurde, und sich dort allseitig ausbreitete. Dieser aufsteigende Luftstrom verliert in einer gewissen Höhe seine Durchsichtigkeit, und bildet eine Wolke, die zur Classe der *cumulus* gehört, mit horizontaler Grundfläche und von einer durch die Wärme und Feuchtigkeit der Luft bedingten Höhe. Diese Wolke entsteht durch den aufsteigenden Luftstrom, und giebt gewöhnlich Regen oder Hagel in Folge der Kälte, die in jenen höheren Regionen herrscht, ohne dafs die Elektricität, obgleich sie vorhanden ist, einen wesentlichen Einflufs hat. Neben diesem, den Erscheinungen gemäfs nicht zu bezweifelnden, gewaltsam aufsteigenden Luftstrome im Centrum des Tornados ist die fortschreitende Bewegung des ganzen Meteors nur sehr langsam, wenn man sie mit der unglaublich schnellen im Innern desselben vergleicht. Espy fand weiter, dafs zu Philadelphia, wo die hohen Federwolken (*Cirrus*) eine Richtung nach Osten haben, das Centrum der Tornados sich fast allezeit gleichfalls in dieser Richtung bewegt, eben wie in Europa, wo der Westwind herrschend ist, statt dafs in den tropischen Gegenden, Barbados, Jamaica und dem nördlichen Theile des indischen Meeres, das Meteor sich gen West oder Nordwest bewegt, der Richtung der Passatwinde folgend. In der Mitte der Tornados steht das Barometer nicht selten bis 60 Millimeter (26,6 Lin.)

---

rain, hail and snow, water-spouts, land-spouts, variable winds and barometric fluctuations. Philad. 1836. 8.

niedriger, als an den Grenzen, aufserhalb welcher das Barometer bei kleinern Tornados meistens bis höchstens 2 Millim. (0,9 Lin.), bei heftigen aber wohl 10 Millim. (4,4 Lin.) höher steht. Von den durch das Centrum des Meteors umgestürzten Bäumen zeigt der erste eine der Bahn desselben vorausgehende, der zweite eine ihr nachfolgende Bewegung, über die Spitzen der zuerst umgedrehten Bäume liegen die der nachfolgenden; die Zweige der nicht abgebrochenen Bäume aber, welche in der Bahn des Centrums des Meteors liegen, zeigen die Richtung des Windes, und sind um den Stamm herumgedreht.

Die zur Bildung der Tornados, sowohl der grofsen als auch der kleinen, günstigen Bedingungen sind eine feuchte und heifse Luft über einer hinlänglich ausgedehnten ebenen Fläche, und gehörige Ruhe der Luft, damit die stärker ausgedehnte Luft bis zu der erforderlichen Höhe über der Mitte des erhitzten und mit durchsichtigem Wasserdampfe überladenen Raumes aufsteigen kann, hauptsächlich aber die Anwesenheit kalter und trockner Luft in den oberen Regionen, deren Beschaffenheit und namentlich Dichtigkeit, derjenigen des aufsteigenden Stromes entgegengesetzt ist, so dafs letztere sich ausdehnen, sich abkühlen und durch Niederschlagung ihres Dampfgehaltes ihre Durchsichtigkeit verlieren kann, wobei sie ihr geringeres specifisches Gewicht in Vergleichung mit der umgebenden Luft beibehält, und durch ihre Ausbreitung die Gestalt eines Champignons annehmen kann, während der Niederschlag allmälig bis auf den Boden herab statt findet.

Hierauf gründet Espy die aus den Thatsachen unmittelbar hervorgehende Theorie. Sind die angegebenen Bedingungen vorhanden, so entsteht ein aufsteigender Luftstrom, dessen Geschwindigkeit nach dynamischen Gesetzen um so mehr wächst, je höher er sich erhebt, eben wie dieses für den Zug in den Kaminen und den Röhren der Luftheizung gilt. Auf jeden Fall wird also diese Säule stets leichter bleiben, selbst wenn ein Niederschlag in derselben erfolgt, weil dadurch die Elasticität bedeutend vermindert wird, wie auch die darüber angestellten Berechnungen ergeben. Es hängt dann von dem Feuchtigkeitszustande der aufsteigenden Luftsäule ab, wie tief die sich bildende Centralwolke in den Tornados, die bei den gröfseren allezeit eine horizontale Fläche hat, herabgeht, was bei den kleinen, die aber mit erstaunlicher Kraft wirken, allezeit bis zu

geringer Höhe statt findet. Die fortschreitende Bewegung dieser Meteore könnte allerdings eine Folge der fast ohne Ausnahme stets bewegten Luft seyn; allein da die Tornados über den beschriebenen Ebenen oft so ausnehmend schnell, und eben bei gänzlicher Windstille, zu entstehn pflegen, so glaubt Espy vielmehr, dafs diese Ursache von einer Bewegung der oberen Luftschichten herrühre, wonach sie dann unter mittleren Breiten östlich gerichtet seyn mufs, während sie in den Aequatorialgegenden westlich ist, der Richtung der Passatwinde gemäfs. In dieser Erklärung liegt auch der Grund, weswegen unmittelbar vor der Entstehung eines Tornados das Barometer etwas zu steigen pflegt, was man sogar als ein Vorzeichen seines Entstehens betrachten kann. Eine ähnliche Wirkung erzeugen an einigen Orten, z. B. auf Jamaica, die See- und Landwinde; indem diese zu bestimmten Tageszeiten Sturm und Regen hervorbringen. Dafs sonstige örtliche Ursachen, als Waldbrände und vulcanische Ausbrüche, auf gleiche Weise einen aufsteigenden Luftstrom mit den eben erwähnten nothwendigen Folgen zu erzeugen vermögen, wird niemand bezweifeln; wenn aber Espy behauptet, dafs die aus der Höhe herabströmende Luft wegen der gleichzeitig statt findenden Compression niemals kalt seyn könne, so streitet dieses gegen zahllose Erfahrungen.

83) Gegen diese Theorie, zu deren Aufstellung Espy hauptsächlich durch die Lage und Richtung der beim heftigen Sturme zu New-Brunswick am 19. Juni 1835 umgestürzten Bäume veranlafst wurde, erklärte sich vorzugsweise Redfield in mehreren, die ihm wiederholt gemachten Einwürfe beantwortenden Abhandlungen[1]. Nach seiner Ansicht sind die an den Küsten der americanischen Staaten häufigen Stürme wahre Wir-

---

1 Mir sind von diesen blofs die in Silliman's Journale enthaltenen bekannt, ich theile aber auch die übrigen in Dove's Abhandlung angegebenen mit: Remarks on the prevailing storms of the Atlantic coast. Sillim. T. XX. N. 1. Hurricane of August 1831. (To the editor of the Journal of Commerce). Observations on the Hurricanes and Storms. In Blunts American Coast-Pilot 12 edit. The Gales and Hurricanes, in Silliman's Journ. T. XXXI. N. 1. Meteorological Sketches. Ebend. T. XXXIII. N. 1. Remarks on Mr. Espy's theory in Journ. of the Franklin Institute. On the courses of Hurricanes, in Sillimans Journ. T. XXXV. Nov. The law of Storms, in New-York Observer 1840. Jan. 18. Vergl. Edinburgh New Philos. Journ. N. LVI. p. 361.

belwinde, und die Windrichtungen bilden Tangenten an die Kreise, worin die Luft sich bewegt. Eine wichtige Unterstützung dieser Meinung wurde ihm durch die gehaltreichen Untersuchungen geboten, welche COLONEL REID[1], Gouverneur der Bermudas-Inseln, unabhängig von REDFIELD's eigenen Forschungen über die Stürme der tropischen Zone und der angrenzenden Gegenden angestellt hat. Beide kommen darin überein, daſs die Winde und namentlich die Stürme fortschreiten, dabei in sich eine wirbelnde Bewegung der Luft einschlieſsen, wonach also die Windrichtungen Tangenten an die hierdurch entstehenden Kreise bilden. Die gesammelten Erfahrungen beider verbreiten sehr viel Licht über die wesentliche Beschaffenheit der Stürme unter mittleren Breiten, namentlich so fern sie diese mit den in der äquatorischen Zone und an deren Grenze entstehenden in Zusammenhang bringen. Hiernach behalten die in der nördlichen tropischen Zone gebildeten Stürme ihre ursprüngliche, im Ganzen von SO. nach NW. gehende, Richtung bei, so lange sie jene Zone nicht verlassen, beim Austritt aus derselben biegen sie sich aber stark in einer gekrümmten Linie, so daſs sie in der gemäſsigten Zone eine Richtung von SW. nach NO. annehmen[2]. Diesem gemäſs müssen die ähnlichen Stürme auf der südlichen Halbkugel, wenn sie anfänglich eine Richtung von NO. nach SW. haben, beim Uebergange in die gemäſsigte Zone eine Richtung von NW. nach SO. annehmen.

Die Hauptsachen, die man über diese Winde zu wissen begierig ist, ihr erster Ursprung, ihr Fortschreiten und die Bahn, welche sie hierbei inne halten, die Geschwindigkeit ihrer Bewegung, die Gröſse der Verheerungen, die sie anzurichten vermögen u. s. w. werden deutlich erläutert durch die Beschreibung von eilf Stürmen, die REID nach den genauesten über sie eingezogenen Erkundigungen gegeben und durch Zeichnung auf einer ausnehmend schönen Charte versinnlicht hat. Da auf der letzteren das Wissenswürdigste über diese von N. I bis N. XI verzeichneten Stürme angegeben und sehr anschaulich dargestellt ist, so wird es genügen, die Charte in

---

1 An attempt to develop the law of storms by means of facts cet. illustrated by charts and wood cuts. Lond. 1838. 8. second ed. 1841.

2 REDFIELD läſst nicht unbemerkt, daſs CAPPER schon im Jahre 1801 den Satz von der Umbiegung der Hurricane aufgestellt habe. S. Edinburgh New Phil. Journ. N. L. p. 342.

Tab. XXV. verkleinertem Maſsstabe mitzutheilen und hierauf zu verweisen[1]; was weiter in Beziehung auf die Stürme zu wissen von Wichtigkeit ist, wird später gelegentlich erwähnt werden. Zu bemerken ist nur noch im Allgemeinen, daſs drei dieser Stürme, so weit sie bekannt wurden, ihre gerade Richtung beibehielten, die N. I, V, XI, der letztere vielleicht deswegen, weil er nur da beobachtet wurde, wo er bereits die unter jenen Breiten gewöhnliche südwestliche Richtung angenommen hatte.

84) Die hier erörterten Thatsachen dienten ausnehmend dazu, dasjenige, was Dove früher über das allgemeine Drehungsgesetz der Winde aufgestellt hatte, weiter zu begründen und zu vervollständigen. Um zu zeigen, daſs die Wirbelbewegung der Luft bei Stürmen auf gleiche Weise, als unter niedrigern Breiten, auch unter mittleren und höheren statt finde, wählt er den Sturm um Weihnachten 1821, über welchen schon Brandes reichliche Materialien gesammelt hatte. Nach einer Vergleichung der Barometerstände und Windrichtungen an fast funfzig Orten in Italien, Frankreich, England und Deutschland während der Dauer dieses Sturmes erstreckte sich die Linie der tiefsten Barometerstände von SW. nach NO., etwa von Brest bis Cap Lindenaes an der Südwestspitze Norwegens, die Windrichtungen an beiden Seiten dieser Linie der barometrischen Minima, in welcher also nach Dove's Theorie die südwestliche, oder, wie man sie in Beziehung auf die allgemeine normale Luftbewegung nennen kann, die südliche Strömung fortrückte, zeigten aber deutlich verschiedene weit ausgedehnte Wirbel mit einzelnen kleinen partiellen Ablenkungen, deren Ursachen sich aus örtlichen Bedingungen sehr genügend herleiten lassen, wie dieses alles aus der graphischen Darstellung Fig. 202. auf einer beigefügten Charte sehr lichtvoll hervorgeht. Die Entstehung der Wirbelbewegung erklärt Dove auf folgende Weise. Bezeichnet ab eine Reihe materieller Puncte, welche dem Aequator (auf der Nordseite) parallel durch irgend einen Impuls in der Richtung ac nach Nord hin bewegt werden, so würden dieselben, weil sie von gröſseren Parallelkreisen in kleinere, also aus einer Zone mit schnellerer Rotation in eine mit langsamerer, übergehn, sich nach gh hin bewegen, voraus-

1 Ein Auszug aus Reid's Werke und die Charte im verkleinerten Maſsstabe findet man in Edinburgh New Phil. Journ. N. XLVIII. p. 307.

gesetzt, dafs dbh ein leerer Raum wäre. Befindet sich aber in diesem Raume unbewegte Luft, so werden die Theilchen in b bei ihrer Bewegung nach d im Raume dbh stets mit Lufttheilchen von geringerer Rotationsgeschwindigkeit in Berührung kommen und es mufs also ihre Bewegung nach Ost hin vermindert werden. Daher wird der Punct b statt nach h vielmehr nach f hin gelangen. Die Theile in a dagegen haben neben sich nach b hin Theile ursprünglich gleicher Rotationsgeschwindigkeit, sie bewegen sich wie im leeren Raume, also nach g hin. Ist demnach ab eine von S. nach N. sich bewegende Luftmasse, so wird die Richtung dieses Windes auf der Ostseite weit mehr eine südliche, auf der Westseite mehr eine westliche seyn und dadurch eine Tendenz zu einem Wirbel im Sinne S., O., N., W. entstehn. Die Wirbelbewegung würde überhaupt nicht eintreten, wenn im Raume dbh kein Widerstand leistendes Mittel vorhanden wäre, und sie wird zunehmen, je mehr die westliche Ablenkung der bewegten Luftmassen Hindernisse findet. In der Passatzone ist der Raum dbh mit Luft angefüllt, welche von NO. nach SW. fliefst, der Widerstand ist hier am gröfsten und die Luft in b kann also in ihrer Tendenz nach W. so gehemmt werden, dafs sie ihre Richtung nach d unverändert beibehält, während a nach g strebt. Der Sturm wirbelt daher hier am stärksten, geht aber bei unveränderter Breite geradlinig fort. Gelangt er in die gemäfsigte Zone, so findet sich im Raume dbh Luft, welche sich von SW. nach NO. bewegt; der Widerstand, welchen die Theilchen in b früher fanden, wird dadurch bedeutend gemindert oder ganz aufgehoben, und die Richtung bd verändert sich schnell in die Richtung bh, der Sturm biegt sich also plötzlich, während er an Breite schnell zunimmt, da der bisher zwischen der Bewegung der Puncte in a und der Puncte in b vorhandene Unterschied aufhört. Auf welche Weise jenseit des Aequators die entgegengesetzte Bewegung statt finden müsse, ist aus der Zeichnung von selbst ersichtlich. Fig. 203.

85) Die erwähnten, wegen ihrer furchtbaren Wirkungen allgemein bekannten, westindischen Orkane entstehn an der innern Grenze der Passate, da, wo in der Gegend der Windstillen die Luft aufsteigt und über dem unteren Passate abfliefst; wahrscheinlich sind es also Massen dieses oberen Stromes, welche in den unteren eindringend die erste Veranlassung zu

diesen Stürmen geben. Die hohen Gebirge der Inseln in jener Gegend mögen wohl einen Grund zu solchen, die wirbelnde Bewegung solcher Orkane bedingenden, Hemmungen abgeben, da die Luft zwischen zwei Höhen mit doppelter Geschwindigkeit hindurchströmt. Warum die Stürme anfänglich von SO. nach NW. fortschreiten, könnte darin seinen Grund haben, dafs der Theorie nach diese Richtung der Entstehung der Wirbel am günstigsten ist, weil im entgegengesetzten Falle bei einer ursprünglichen Richtung von SW. nach NO. der überall gleichmäfsig entgegenströmende NO.-Passat keine Wirbel veranlassen, sondern nur die Bewegung hindern würde. Dafs auch an andern Orten durch ähnliche Ursachen den westindischen Orkanen gleichende Wirbel entstehn, zeigt Dove durch eine genaue, vermittelst graphischer Darstellung erläuterte Beschreibung des Sturmes, welcher nach Piddington's[1] gesammelten Beobachtungen vom 3. bis 5. Juni 1838 in der Bai von Bengalen wüthete, dessen Richtung übrigens die entgegengesetzte war, als die der sämmtlichen, auf der mitgetheilten Charte gezeichneten westindischen, nämlich anfänglich eine südwestliche, die sich nach ihrer Umbiegung mit vielen in der Mitte liegenden gewaltsamen Wirbeln in eine südöstliche verwandelte. Aus solchen Wirbeln bestehn dann ohne Zweifel auch die *Typhons* im indischen Meere, über welche Horsburgh[2] bemerkt, dafs sie an China's Südküste vom Juli bis September nahe an der Küste eine Drehung der Windfahne von NW. durch N., NO., O., SO., S. erzeugen, weiter davon entfernt dagegen eine von N., NW, W., SW., S., was nach Dove Wirbelstürme bezeichnet, die im Sinne S., O., N., W. sich drehend von O. nach W. an der Küste vorbeistreifen, die von der nördlichen Hälfte des Wirbels getroffen wird, während die entfernten Gegenden in seiner südlichen liegen.

86) An diese Voraussetzungen knüpft Dove noch einige Folgerungen, die in Beziehung auf das Verhalten der Orkane interessant und wichtig sind. Wenn der rotirende Cylinder aus dem unteren Passate in den oberen gelangt, wo eine südwestliche Richtung der Luftströmung bereits vorherrscht, so wird sich dieser Theil des Wirbels erweitern und nach einer anderen Richtung fortschreiten, als der untere. Dadurch ent-

1 Researches on the gale and hurricane cet. In Journ. of the Asiatic Soc. of Bengal. N. 91. p. 550. N. 92. p. 631.

2 India Directory. T. II. p. 233.

steht ein Saugen in der Mitte des Wirbels nebst einer Verminderung des Druckes auf den Boden, indem sich der Wirbel zugleich nach oben trichterförmig erweitert und dadurch ein Aufsteigen der unteren Luftmassen veranlaſst. Dieses Saugen ist aber nicht die Ursache des Sturmes, wie sich aus dem von 2. Aug. 1837 zu St. Thomas und Portorico beobachteten ergiebt, wobei voraus zu bemerken ist, daſs am ersteren Orte am 1. Aug. das Barometer 337 Lin. zeigte. Die folgende Tabelle enthält die an beiden Orten beobachteten Barometerstände und Windrichtungen.

St. Thomas Zeit		Barom.	Wind		Portorico Zeit		Barom.	Wind
2^h	$10'$	$335'''$	NW.	Sturm				
3	20	334	N.					
3	45	334	N.					
4	45	332	N.					
5	40	331,5	NO.					
5	45	330	NO.					
6	30	328	NW.	Orkan				
6	35	325,5	NW.					
6	45	324	NW.					
7	0	324	NW.					
7	10	322	NW.					
7	22	318,5	NW.					
7	30	317	NW.					
7	35	316,5		Windstille				
7	52	316			8^h	$0'$	$333''',28$	NNO.
8	10	316						NNO.
8	20	316						NNO.
8	23	320	SSO.	Orkan				NNO.
8	33	321	SO.					NNO.
8	38	322	SO.					NNO.
8	45	323	SO.					NNO.
8	50	324	SO.					NNO.
9	0	326	SO.		9	0	332,16	NNO.
9	10	328	SO.					NNO.
9	25	329	SO.					NNO.
9	35	330	SO.					NNO.
9	50	331	SO.					NNO.
10	10	332	SO.		10	0	331,03	NNO.
10	35	333	SO.					NNO.
11	10	333,2	SO.		11	0	329,90	O.
11	30	333,5	SO.		12		315,27	O. Orkan
11	45	335	SO.		15	30	328,43	S.
20	0	336,5	SW.		16	0	332,16	S.
21	0	336,8	O.					

Die hierbei, wie so oft bei den heftigsten Orkanen, plötzlich eintretende gänzliche Windstille, die auf das Gemüth einen noch schrecklichern Eindruck machen soll, als der Sturm selbst, könnte zwar allerdings von entgegengesetzten, einander aufstauenden, Winden abgeleitet werden. Dove findet aber ihre Ursache in der Wirbelbewegung, weil in der Mitte der Wirbel selbst Ruhe seyn mufs, die dann an einem gegebenen Orte so lange anhält, bis die Mitte desselben fortbewegt ist und die äufseren Kreise eine der früheren entgegengesetzte Richtung herbeiführen. Als entscheidender Beweis hierfür gilt ihm aufserdem der Umstand, dafs bei geradlinigem Fortgange die Luftströmung von Portorico nach St. Thomas gerichtet, also westlich seyn mufste, statt dafs sie NNO. war. Für die Wirbelbewegung läfst sich übrigens auch das Argument als entscheidend anführen, dafs zwar bei den Orkanen der Wind häufig nach eingetretener Ruhe plötzlich in die entgegengesetzte Richtung überspringt, nicht selten aber durch den ganzen Kreis der Windrose herumläuft, was mit lothrecht entgegengesetzten Strömungen ganz unvereinbar ist. Beim Fortschreiten dieser Wirbel ist noch der Umstand zu berücksichtigen, auf welchen Redfield aufmerksam gemacht hat, dafs die Erde dieser Bewegung Hindernisse in den Weg legt, weswegen sich der Wirbel umbeugt und oben schneller vorausrückt. Daher fällt das Barometer schon vor dem Eintreten des Sturms und es wird hieraus das oben (§. 50) erwähnte heftige Brausen erklärbar, welches häufig bei unten herrschender Windstille in den oberen Regionen gehört wird, wenn Thauwetter bevorsteht, und zur Sage vom wilden Jäger Veranlassung gegeben hat. Es sind dieses die herbeiströmenden südlichen Luftmassen, die nothwendig eine wirbelnde Bewegung haben müssen, weil sich nur hieraus das heftige Brausen erklären läfst. In der heifsen Zone steigen in Folge des Aufsaugens, welches solche Wirbel in den oberen Regionen bewirken, heifse und mit Wasserdampf überladene Luftmassen empor, es entstehn Niederschläge durch die Abkühlung derselben und es bildet sich das von den Seefahrern so genannte *Ochsenauge*, eine kleine schwarze Wolke, die plötzlich am heitern Himmel zum Vorschein kommt, sich schnell bewegt und vergröfsert, und einen desto heftigern Sturm verkündet, je heiterer vorher das Wetter war. Aehnliche

Erscheinungen gehn häufig den Tornados an Africa's Westküsten voraus (§. 104).

87) Ueber die Veränderungen dieser Wirbelstürme bei ihrer Verbreitung in die gemäſsigten Zonen hat Dove einige sehr interessante Thatsachen zusammengestellt. Vor allen Dingen müssen sie bei ihrem Fortgange stets mehr an Umfang zunehmen, wodurch dann ihre Heftigkeit gemindert wird, indem zugleich örtliche Hindernisse sehr mächtige partielle Wirbel erzeugen. Dieses war der Fall bei dem Sturme um Weihnachten 1821 zu Brest, zu Portsmouth und an einigen Orten der Schweiz, während am Südabhange der Alpen, z. B. zu Venedig, Genua und Nizza, groſse Ueberschwemmungen durch unerhörte Regengüsse entstanden. Dringen die Massen der warmen und feuchten tropischen Luft in die Gegenden unter mittleren und höheren Breiten ein, so sind sie von ungewöhnlicher Wärme und reichlichen Regengüssen begleitet, worüber es kaum der Erwähnung specieller Fälle bedarf, da sich gewiſs jeder Beobachter erinnert, durch unnatürlich warme Luft auf das Bevorstehen heftiger Stürme aufmerksam gemacht worden zu seyn. Hiermit zusammenhängend ist dann auch die gangbare Regel, daſs unbeständiges, regnerisches Wetter bevorsteht, wenn die gewöhnliche Drehung des Windes durch S., W., NW. sich in die entgegengesetzte verwandelt, insbesondere wenn dieses schnell geschieht und sich oft wiederholt; denn dieses ist ein Zeichen vorhandener, wenn auch nicht gerade heftiger Wirbel. Daſs übrigens an verschiedenen Orten entstandene Wirbel einander treffen und gegenseitig modificiren können, wie nicht minder, daſs auch geradlinig in verschiedenen, mitunter direct entgegengesetzten, Richtungen sich bewegende Luftmassen auf einander stoſsen können, folgt nicht bloſs aus der Natur der Sache, sondern Dove[1] hat dieses auch für einen speciellen Fall bestimmt nachgewiesen.

Es läſst sich keinen Augenblick verkennen, daſs durch den hier in Kürze mitgetheilten reichen Schatz von Thatsachen und die mit groſsem Scharfsinn aus ihnen abgeleiteten Folgerungen viel Licht über das bisher nicht mit genügender Deutlichkeit erkannte Verhalten der Winde verbreitet ist, und wir wollen daher wegen der Wichtigkeit der Aufgabe versuchen,

1 Poggendorff's Ann. XIII. 606.

die Hauptsätze der durch Halley und Hadley ursprünglich begründeten, durch Dove modificirten und verbesserten Theorie kurz zusammenzustellen[1].

88) Beschränken wir uns vorläufig auf die nördliche, bei weitem am vollständigsten bekannte, Halbkugel, so muſs nach den von Halley richtig erkannten Principien ein Hindrängen der kalten, und daher schwereren, Polarluft zum Aequator hin statt finden, wobei die Axendrehung der Erde schon an sich in sofern mitwirkend ist, als sie diese Strömung befördert. Die letztere Ursache allein würde in einer so beweglichen Flüssigkeit, als die Luft ist, einen Andrang von den Polen zum Aequator hin veranlassen, wenn gleich durch die ununterbrochene Dauer ein fast unveränderter Zustand des Gleichgewichts zwischen den Wirkungen der Schwungkraft und der Schwere herbeigeführt werden müſste, welcher indeſs durch selbst geringe Hindernisse einer Störung unterliegen würde. Sofern aber der Unterschied der Wärme unter dem Aequator und unter dem Pole als die wirksamste Ursache dieser allgemeinen Strömung gelten muſs, kommen noch zwei bedingende Umstände hinzu, die mir bisher kaum überhaupt beachtet worden zu seyn scheinen. Zuerst muſs die kältere Luft mit so viel gröſserer Energie in die wärmere eindringen, je bedeutender der Unterschied ihrer Temperaturen ist. Wir dürfen zwar wohl unbedenklich die Wärme unter dem Aequator mit Rücksicht auf die Declination der Sonne und partiell wirkende örtliche Ursachen als überall gleich betrachten, was dann eine überall gleichmäſsige Strömung der Polarluft zum Aequator hin zur Folge haben müſste; ganz anders aber verhält es sich mit der kalten Luft, insofern wir *zwei Kältepole* haben, wonach also die Bewegung nicht von einem gemeinschaftlichen Puncte, sondern von zweien ausgeht. Wollte man demnach eine Durchschnittslinie der gleichmäſsig starken Luftbewegung gegen den Aequator hin ziehen, so würde diese kein den astronomischen Pol umgebender Kreis, sondern eine die beiden Pole einschlieſsende lemniscatenförmige Curve seyn, deren beide Schleifen sich unter irgend einer Polhöhe, vielleicht in einem gemeinschaftlichen

2 Die von Mitchell in Silliman's Amer. Journ. T. XIX. Edinb. New Phil. Journ. N. XXIII. p. 30 aufgestellte allgemeine Theorie der Winde stimmt im Wesentlichen hiermit überein.

Puncte, vereinigen. Der Einfluſs der beiden Kältepole wird zwar gegen die äquatorische Zone hin zunehmend vermindert werden und an der Grenze derselben gänzlich verschwinden, inzwischen verwandelt sich jene Curve doch sicher nicht in einen Kreis, da dieses auch bei den Isothermen[1] selbst nahe beim Aequator der Fall nicht ist, und sollte auch die Herabrückung der nördlichen Kältepole in gröſsere Nähe des Aequators auf den NO.-Passat selbst keinen merklichen Einfluſs äuſsern, so wird dieses doch ohne Zweifel in Beziehung auf den rückkehrenden SW.-Passat der Fall seyn. Ein zweiter bedingender, mit dem ersten genau zusammenhängender, Umstand liegt in der normalen Meeresströmung, die im Allgemeinen im atlantischen Ocean mindestens zum gröſsten Theile und namentlich der Westküste Europa's entlang nach Norden hin gerichtet ist, in der Behringsstraſse aber eine Richtung nach Süden annimmt. Die Luftströmung wird demnach theils durch die Adhäsion an das Wasser, theils durch die ungleiche Temperatur, die auf dem Meere, verglichen mit der über dem Lande, herrscht, bedeutend modificirt.

89) Denken wir uns die von den nördlichern Zonen zum Aequator hin vorrückenden Luftmassen, so genügen diese aus einem kleineren Raume in einen erweiterten gelangenden nicht, um den letzteren gänzlich auszufüllen, denn ihre Mengen verhalten sich wie die Quadrate der Cosinus der Breite. Hierdurch müssen dieselben, als die ohnehin schwereren, das Bestreben erhalten, sich in den unteren Regionen auszubreiten und die leichteren, in der äquatorischen Zone aufsteigenden, über sich hinflieſsen zu lassen. Inzwischen kann eine hierdurch bedingte Hin- und Zurückströmung wegen der vielen, durch die rauhe Erdoberfläche verursachten, Hindernisse nicht statt finden, vielmehr wird nur der allgemeine Andrang der kälteren Luft der Halbkugel zur tropischen Zone zurückbleiben. Leicht zu erklären ist dann die entstehende Wirbelbewegung. Solche Wirbel entstehn selbst bei dem weit minder flüssigen Wasser, sobald es bei seiner Bewegung auf Hindernisse stöſst, wie man namentlich bei Brückenpfeilern und sonstigen Gegenständen gewahrt, die seinen Lauf hemmen. Wenn daher die von den Polen herbeiströmenden Luftmassen so weit vorgerückt sind,

---

1 Vergl. Art. *Temperatur.* Bd. IX. S. 500.

dafs sie durch die Rotation der Erde den nordöstlichen und südöstlichen Passat bilden, so ist durch diese, fast einen rechten Winkel bildende, Drehung schon der Grund zu einer Wirbelbewegung gegeben, und ich möchte daher die SW.-Passate der subtropischen Zone nicht blofs als das Erzeugnifs der unter der Linie aufgestiegenen und wieder herabsinkenden Luftmassen betrachten, sondern vielmehr zugleich für das Erzeugnifs dieser genannten, schon bestehenden Drehung halten. Hiermit dürfte dann auch die schmale Zone der Windstillen zwischen beiden Passaten leicht in Einklang zu bringen seyn. Nach der gewöhnlichen Ansicht entsteht dieselbe dadurch, dafs beide Polarströme sich wechselseitig aufstauen, wodurch dann Windstille entstehn soll; allein dieses könnte unmöglich in einem so breiten Raume von zwei bis drei Graden statt finden und noch weniger mit dem ruhigen Abfliefsen der Luft an beiden Seiten verträglich seyn; wenn aber die von beiden Erdhälften gegen den Aequator dringenden Luftmassen in Folge der Rotation der Erde in der Zone der Passate bereits ihre Drehung angenommen haben und nach Westen ruhig abfliefsen, wie es bei den nur langsam wehenden Passatwinden der Fall ist, dann mufs zwischen diesen beiden Strömen nothwendig Windstille herrschen. Diese kann aber keine beständige seyn; vielmehr mufs bei eintretenden Störungen die eine oder die andere Polarströmung in diesen Raum eindringen und dann sofort heftige Wirbel mit Platzregen erzeugen, wodurch die Region der Windstillen in die der heftigsten Orkane verwandelt wird.

90) Was wir beim strömenden Wasser deutlicher wahrnehmen, läfst sich auch auf die Luftbewegungen anwenden, und noch obendrein in einem gröfseren Mafsstabe wegen der unermefslichen Ausdehnung des atmosphärischen Oceans und der gröfseren Beweglichkeit der Luft. Wenn ein Wasserstrom auf Hindernisse stöfst oder wenn entgegengesetzte Ströme einander treffen, so entstehn Wirbel, und obendrein desto gröfsere und stärkere, je gröfser die Massen sind und je schneller sie sich bewegen. Die in Wirbeln sich drehenden Wassermassen strömen rückwärts, ohne die Hauptströmung aufzuheben, fallen wieder mit dieser letzteren zusammen und nähern sich mit dieser abermals dem die Drehung bewirkenden Hindernisse. Ein diesem sehr ähnliches Verhalten findet nach meiner Ansicht

auch bei der Luft statt. Bei dem allgemeinen Hinströmen der Polarluft zum Aequator entsteht durch die Rotation der Erde eine Umdrehung der hiernach bestehenden Richtung, wodurch die Passate ihren Ursprung erhalten, und obgleich hiermit ein Aufsteigen der erhitzten Luft verbunden ist, so sind wir doch nicht gezwungen, uns dasselbe als geradlinig vorzustellen, sondern auch dieses erfolgt ohne Zweifel in Wirbeln, indem die aufsteigende Luft zugleich in die zurückströmende wieder herabsinkt. Lassen wir hiernach einmal die zahlreichen partiellen Störungen unberücksichtigt und fassen wir die nothwendig bedingten Erscheinungen im Ganzen auf, so liegt der Gesammtbewegung der Winde die allgemeine Polarströmung zum Grunde, aus welcher die Erzeugung der Passate unmittelbar folgt. Die durch diese eingeleitete Drehung der Winde erzeugt dann den bekannten SW.-Passat, welcher sich unmittelbar an der Grenze des Passates auf der nördlichen Halbkugel, insbesondere auf dem Meere, zeigt, wo örtliche Hindernisse am wenigsten ihren Einflufs ausüben, sich daher in der subtropischen Zone findet, und im Winter, der veränderten Declination der Sonne zu Folge, bis in die tropische hinabreicht, wie man namentlich aus den SW.-Winden ersieht, welche im Winter in der Bai von Benin herrschen. In der gemäfsigten Zone breiten sich die hierdurch erzeugten Wirbel zunehmend mehr aus, veranlassen das allgemeine Drehungsgesetz der Winde von N. durch O., S. und W., und bedingen die namentlich in Europa vorherrschenden Westwinde, die nach Umständen eine etwas nach S. oder nach N. sich neigende Richtung erhalten.

91) Alles dieses hat Dove mit genügender Vollständigkeit gründlich erörtert; es kommt aber noch ein Umstand hinzu, welcher bisher weniger berücksichtigt worden zu seyn scheint. Nach dem Vorhergehenden giebt es auf der nördlichen Halbkugel eine Zone der im Mittel so zu nennenden Westwinde, die ohne örtliche Einflüsse südlich an der Grenze der jezeitig wehenden Passate anfängt; eine weitere Aufgabe ist aber die Bestimmung ihrer nördlichen Grenze. Die in der oben (§. 70) mitgetheilten Tabelle aufgezeichneten mittleren Windrichtungen geben hierüber keine genügende Auskunft, denn in Grofsbritannien, an den Küsten der Nord- und Ost-See, in Dänemark, Norwegen, Schweden und Rufsland unterliegen die Winde örtlichen Einflüssen, die zum gröfsten Theile in der Nähe des Meeres zu

suchen sind. Blofs Petersburg und Moscau geben eine Andeutung, dafs der Wind unter höheren Breiten eine mehr nördliche Richtung annimmt. Sehr schätzbar sind daher die zu Felix-Harbour durch Ross und die im grönländischen Eismeere durch Scoresby den Vater und den Sohn (§. 66) angestellten Beobachtungen, aus denen mir zu folgen scheint, dafs von beiden Kältepolen aus die Luft regelmäfsig dem Aequator zuströmt, beim Eintritt in die gemäfsigte Zone aber durch den vorherrschenden Westwind abgelenkt wird. Unregelmäfsige partielle Winde abgerechnet, deren Wechsel mit der Zunahme der Polhöhe zahlreicher wird, wie insbesondere aus den erwähnten Beobachtungen von Hamilton und hauptsächlich Scoresby hervorgeht, durch die von Ross aber bestätigt wird, haben wir demnach auf der nördlichen Halbkugel drei Zonen mehr oder minder regelmäfsiger, im Ganzen aber als vorherrschend sich herausstellender Winde, die des Passates, die sehr ausgedehnte der Westwinde und die nördlichste der Nordwinde, wenn wir ihre Bezeichnung nach ihrem allgemeinen Charakter wählen. Die Grenzen aller dieser drei Zonen sind schwer anzugeben, weil sie durch mehrfache Nebenbedingungen modificirt und abgeändert werden, die sich nicht mit Sicherheit feststellen lassen, selbst nicht auf den Oceanen, wo sie noch am regelmäfsigsten sind; denn auf dem Lande ist dieses ganz unmöglich. Unter die Hauptbedingungen dieser Grenzen gehören die stets wechselnde Declination der Sonne und aufserdem die Lage der Kältepole. Als allgemein geltend läfst sich wohl annehmen, dafs nicht blofs die südliche Grenze des SW.-Passates der nördlichen Halbkugel im Sommer höher heraufrückt, als im Winter, sondern zugleich auch ihre nördliche tiefer herabgeht. Dieses ergiebt sich offenbar daraus, dafs die oben (§. 67) mitgetheilten vierteljährlichen mittleren Windrichtungen, wenn wir Tunis und Madera als zu sehr örtlich bedingt ausnehmen, im Sommer mehr westlich oder mehr nördlich werden. Fänden in den hiernach bestehenden allgemeinen Luftströmungen keine Wirbel statt, so würden wir ohne Rücksicht auf die Jahrszeiten im Mittel etwa unter dem 45. Breitengrade anhaltend Westwinde haben, welche nach dem Wendekreise hin stets mehr zur südlichen, nach dem Polarkreise hin mehr zur nördlichen Richtung übergingen; allein die in allen diesen Gegenden statt findende wirbelnde Bewegung ist so

bedeutend, dafs man früher nur von veränderlichen Winden der gemäfsigten Zone redete, die man für durchaus regellos hielt, und deren Regelmäfsigkeit nur durch Vergleichung mehrjähriger Beobachtungen kenntlich hervortrat. Aufserdem aber giebt es der örtlichen und zufälligen Störungen so viele, dafs das allgemeine Gesetz an einzelnen Orten, wie z. B. zu Tunis, Madera, Fort Columbus u. s. w., gar nicht vorhanden ist, an allen aber nicht in allen Jahren eine ganz gleiche Windrichtung erzeugt. Diese regelmäfsige Luftströmung hat dann auf die an den verschiedenen Orten herrschenden Winde einen entscheidenden Einflufs, den man aus den zahllosen Unregelmäfsigkeiten erst dann herauszufinden vermag, wenn man die Existenz dieses allgemeinen Drehungsgesetzes nicht unbeachtet läfst.

D. Geschwindigkeit und Kraft der Winde.

92) Man betrachtet allgemein die Kraft, welche der Wind gegen diejenigen Körper ausübt, die er trifft, oder den *Windstofs*, als eine Function seiner Geschwindigkeit, und dieses ist auch gewifs richtig; allein wegen seiner wirbelnden Eigenschaft kann die Luftbewegung an einem gegebenen Orte sehr stark seyn, ohne dafs demnach der Wind mit bedeutender Schnelligkeit fortschreitet. Handelt es sich daher um die Bestimmung seiner Geschwindigkeit und die Methoden, diese zu messen, so mufs man beides wohl unterscheiden. Schon in früheren Zeiten suchte man die Geschwindigkeit des Windes mittelst leichter Körper zu messen, die durch ihn fortgeführt wurden, als namentlich Seifenblasen, Federn und dergleichen; allein dieses Mittel ist gerade bei heftigen Stürmen nicht anwendbar, wobei eine genaue Bestimmung am wünschenswerthesten seyn würde. Derham[1] wandte dieses Mittel an und wollte damit die Geschwindigkeit eines Sturmes nicht gröfser als 78 Fufs in einer Secunde gefunden haben, Coulomb[2] dagegen bediente sich gleichfalls leichter Federn und fand hiermit 150 Fufs in einer Secunde. Der erstere stellte seine Messungen bei dem starken Sturme im August 1705 an, dessen Geschwindigkeit 45 engl. Meilen in einer Stunde oder

---

1 Philos. Trans. N. 313. T. XXIX.

2 Theorie des machines simples. Par. 1821. p. 302.

66 engl. Fuſs in einer Secunde betragen haben sollte, weswegen er das Maximum der Geschwindigkeit höchstens zu 50 bis 60, die mittlere dagegen zu 12 bis 15 engl. Meilen annimmt. Inzwischen weiſs gewiſs jeder aus eigener Beobachtung, daſs Federn, Seifenblasen, die fliegenden Spinnengewebe und ähnliche leichte Körper zwar wohl geeignet sind, um die Geschwindigkeit der wenig bewegten Luft zu messen, allein bei stärkeren Winden und noch mehr bei Stürmen, wobei eine genauere Bestimmung gerade am interessantesten seyn würde. ist die Bewegung in so hohem Grade wirbelnd, bald auf- bald absteigend, bald geradlinig bald gekrümmt, daſs schon hiernach eine nur annähernd richtige Messung ganz unmöglich wird, nicht zu gedenken, daſs man solche Versuche nicht gehörig vorbereiten kann. Selbst kleine Luftballons von Goldschlägerhaut eignen sich aus gleichen Gründen hierzu nicht, gröſsere dagegen zeigen die groſse Geschwindigkeit der Winde, selbst wenn sie nicht zu den Stürmen gehören. Bei seinen aëronautischen Versuchen in England legte Garnerin in Gesellschaft mit Locker 9 engl. Meilen in 15 Minuten, und mit Sowden auf seiner Fahrt von London nach Colchester nach Schätzung 60 Meilen in 45 Minuten zurück[1]. Setzen wir die englische Meile = 4956 par. Fuſs, so giebt die erste Bestimmung nahe 50, die zweite über 110 Fuſs in 1 Secunde, und wollen wir auch annehmen, daſs diese Messungen nicht genau sind, so muſs hiernach doch die Geschwindigkeit der Stürme ungleich gröſser seyn, als man bis dahin annahm, was zum Theil daraus erklärlich wird, daſs die Messungen nahe über der Erdoberfläche angestellt wurden, die Luftballons sich aber in den höheren Regionen bewegten, wo die Luftströmung minder gehemmt und daher ungleich schneller ist. Letzteres geht evident aus Lunardi's erhaltenen, auf jeden Fall etwas genaueren, Resultaten hervor[2], welcher bei vollkommener Windstille, die während der ganzen Fahrt anhielt, von Edinburg aus 70 Meilen in 1 Stunde, also 96,3 Fuſs in 1 Secunde zurücklegte.

93) Die offen vorliegenden Hindernisse, die Geschwindigkeit des Windes mittelst der angegebenen Weise auch nur annähernd genau zu messen, vermochten Brice[3], die ganze Me-

1 Th. Young's Lectures. T. II. p. 456.
2 Encyclop. metrop. Mixed Sc. T. I. p. 348.
3 Philos. Trans. T. LVI. p. 226.

thode zu verwerfen, und statt derselben die Bahn des Schattens zu wählen, welchen die bewegten Wolken auf der Erde beschreiben. Hierdurch erhielt er das Resultat, dafs ein beträchtlicher Sturm nahe 60, ein scharfer Wind 21 und ein mäfsiger 10 Meilen in einer Stunde zurücklege, was 86,7, 28,9, 13,8 Par. Fufs in 1 Secunde giebt. Die Bewegung des Schattens der Wolken auf der Erdoberfläche, die häufig sehr schnell geschieht, ist sicher von sehr vielen beobachtet, eigentliche Messungen der Geschwindigkeit aber, und noch obendrein genaue, sind mir nicht bekannt geworden, was wohl in den grofsen, damit verbundenen Schwierigkeiten gegründet seyn mag. Denn obgleich wir die Entfernung der Sonne gegen die Höhe der Wolke als unendlich, und daher aufser der Berücksichtigung liegend annehmen dürfen, so können doch unmöglich zwei Beobachter die für die Messung erforderliche Standlinie bestimmen, weil die Bahn des Schattens schon wegen des wechselnden Standes der Sonne zu unsicher ist, ein einzelner Beobachter aber könnte nur kurze Strecken messen, was in seiner Anwendung auf grofse sehr bedeutende Fehler herbeiführt, abgerechnet, dafs die Parallaxe bei der Bestimmung des Punctes des ankommenden und nach festgesetzter Zeit fortgerückten Schattens, wie nicht minder das eigene Fortschreiten der Sonne und der Halbschatten bei nicht scharf begrenzten Rändern der Wolken, jeder genauen Messung unübersteigliche Hindernisse in den Weg legen. Aufserdem wendet Barlow[1] gegen diese Methode ein, dafs nach Hutton die Wolken zwischen zwei entgegengesetzten, sich treffenden und in Folge ihrer ungleichen Temperatur einen Niederschlag bewirkenden Luftströmen entstehn sollen, mithin die Geschwindigkeit dieser Strömungen nicht theilen, ja sogar bei stark bewegter Luft stillstehn können. Ist gleich dieser Einwurf nicht absolut gültig, so läfst sich doch sein Gewicht nicht ganz verkennen, wenn auch nur insofern, als allerdings die Wolken sich häufig vergröfsern und verkleinern, und sich auf jeden Fall in einer höheren Schicht bewegen, von welcher sich nicht auf eine untere ohne Weiteres schliefsen läfst.

Wäre die Luftbewegung bei den Winden, und namentlich bei den Stürmen, keine wirbelnde, vielmehr eine

---

1 Encyclopaedia metropolitana. Art. *Pneumatics*. T. I. p. 348.

geradlinigfortschreitende, so würde es leicht seyn, aus der ungleichen Zeit ihrer Ankunft an weit entlegenen Orten, die in der Linie ihrer Richtung liegen, ihre mittlere Geschwindigkeit zu messen; so aber kann das Fortschreiten des Wirbels sehr langsam, die Bewegung der Luft aber, die ihn bildet, sehr schnell seyn, wovon namentlich die Wettersäulen sehr überzeugende Beweise liefern. Inzwischen bringt es uns der gesuchten Bestimmung mindestens etwas näher, und aufserdem ist es an sich interessant, die Geschwindigkeit des Fortschreitens dieser Wirbel zu kennen, weswegen es zweckmäfsig seyn wird, einige Beispiele anzuführen. Am 7ten Februar 1817 kam nach der Angabe von Brandes[1] eine Gewitterwolke, die sich um 5 Uhr 30 Min. in Hamburg befand, um 8 Uhr bis Neubrandenburg, und um 11 Uhr 30 Min. nach Strehlen in Schlesien, legte also die ersten 30 Meilen in 2,5 Stunden, die letzten 50 in 3,5 Stunden zurück, also 12 bis 14 Meilen in 1 Stunde, was 70 bis 90 Fufs in 1 Secunde beträgt. Indefs ist diese Berechnung trüglich, denn es war um 8 Uhr 45 Min. auch ein Gewitter zu Königsberg in der Neumark, was nicht in der angegebenen geraden Richtung liegt, und die Wolke mufste sich daher entweder sehr ausbreiten, oder es war hier ein anderes besonderes Gewitter. Der Sturm in der Nacht vom 11ten zum 12ten März 1783 soll nach Toaldo's Beobachtung die Strecke von Venedig nach Neapel, 276 ital. Meilen, in 3 Stunden durchlaufen haben, was eine Geschwindigkeit von 140 Fufs in 1 Secunde giebt. Es ergiebt sich hieraus allerdings ein schnelles Fortrücken der Luft bei Stürmen, allein die Kraft des Windes läfst sich hieraus nicht mit Sicherheit entnehmen, weil auf die bekannte absatzweise gröfsere und geringere Geschwindigkeit der Luft so wenig, als auf ihre wirbelnde Bewegung Rücksicht genommen ist. Dieses folgt evident aus dem Fortschreiten einiger westindischer Stürme[2]. Derjenige von diesen, welcher am 10ten August 1831 Barbados verwüstete, und am 17ten zu Neu-Orleans ankam, legte 2000 Seemeilen in 150, also 13,5 in 1 Stunde zurück, und seine Geschwindigkeit betrug daher nur 21,5 Fufs in 1 Sec. Der Sturm am 17ten Aug. 1827 durchlief in 11 Tagen nur

1 Beiträge zur Witterungskunde. S. 385.

2 Dove in Poggendorff's Ann. LII. 17.

3000 Seemeilen, hatte also, diese zu 5710 Fufs gerechnet, nur eine Geschwindigkeit von etwas über 18 Fufs in 1 Sec. Ungleich schneller war die Bewegung des Sturmes, welcher am 3. Sept. 1804 bei Guadaloupe entstand, und 15,5 Seemeilen in 1 Stunde, also 24,6 Fufs in 1 Sec. zurücklegte, und noch mehr der vom 1sten Sept. 1821 auf den Turks-Inseln, welcher 30 Seemeilen in 1 Stunde, also 47,5 Fufs in 1 Secunde durchlief.

94) Da die hier aus sicheren Beobachtungen in bedeutend langen Zeiten berechneten Geschwindigkeiten erweislich sehr weit hinter der unzweifelhaft gröfseren Geschwindigkeit der Luft an den durch Sturmwinde verheerten Orten zurückbleiben, so läfst sich hieraus schliefsen, dafs auch die bei anderen Stürmen auf gleiche Weise gefundenen die Wirklichkeit nicht erreichen. Würde der Wind ohne weitere Modification jederzeit durch eine Verdünnung der Luft und das geradlinige Hinfliefsen anderer Luftmassen in diesen Raum erzeugt, so liefse sich die Geschwindigkeit dieser Strömung aus dem jedesmaligen Barometerstande nach den im ersten Abschnitte oben gegebenen Formeln berechnen, allein die bisherigen Betrachtungen ergeben genügend, dafs die Bewegung der Winde vielmehr eine wirbelnde ist, in der Mitte dieser meistens zugleich aufsteigenden Wirbel daher leicht eine langsame Bewegung der Luft, mit tiefem Barometerstande verbunden, statt finden kann, während an anderen Orten die einmal in Bewegung gesetzte Luft vermöge der Fortdauer dieser Bewegung in Folge der Trägheit zusammengedrückt wird, und einen höheren Barometerstand erzeugt. Das Barometer giebt daher nur allgemeine Vorzeichen bevorstehender Stürme, deren Heftigkeit im Ganzen der Gröfse seiner Schwankungen proportional zu seyn pflegt, keineswegs kann es aber als Mefswerkzeug ihrer Geschwindigkeit dienen; vielmehr zeigen zahlreiche Erfahrungen, dafs unmittelbar vor oder dafs während eines verstärkten Windstofses das Quecksilber sich wohl eine Linie und darüber zu erheben pflegt. Das sicherste Mittel, die Geschwindigkeit der Windbewegung zu messen, dürfte daher in der mechanischen Kraft derselben gegeben seyn, doch stehn den genauen Bestimmungen, die sich hieraus entnehmen lassen, nicht unbedeutende Schwierigkeiten entgegen. Dahin gehört vorzüglich die stofsweise mit bedeutend wechselnder Stärke statt findende Bewegung, wodurch die

ohnehin bei Stürmen nicht leichte Beobachtung der Apparate ausnehmend erschwert wird. Hierzu kommt aufserdem noch der Einflufs, welchen die Gröfse der Flächen, gegen welche der Wind stöfst, auf die hierdurch erzeugte Kraft ausübt, wie wir weiter unten sehn werden. Ein sehr geeignetes Werkzeug, um die mittlere Geschwindigkeit des Windes zu messen, scheint mir Woltmann's *hydrometrischer Flügel*[1] unter gehöriger Modification, und Lind's Windmesser zu seyn, wovon unten die Rede seyn wird[2].

95) Dürfen gleich die bis jetzt bekannt gewordenen Bestimmungen der Geschwindigkeiten des Windes auf keinen hohen Grad von Genauigkeit Anspruch machen, so wollen wir doch die wichtigsten unter ihnen hier mittheilen. Brandes[3] schliefst aus eigenen Beobachtungen, die er an zwei, in der Richtung eines sich erhebenden Windes, von einander entfernt liegenden Windmühlen machte, dafs ein nur mäfsig genannter Wind dennoch 12 und, mit Rücksicht auf den Widerstand der vor ihm her getriebenen Luft, wohl 16 Fufs in 1 Secunde durchläuft. Hiermit übereinstimmend findet er die Resultate von Woltmann's Jahre lang täglich fortgesetzten Beobachtungen, wonach die heftigsten Stürme in unsern Gegenden keine gröfsere mittlere Geschwindigkeit, als 70 bis 80 Fufs haben sollen, während die einzelnen Stöfse jedoch erheblich schneller seyn mögen. Die Angaben, wonach den südlichern Stürmen 150 Fufs beigelegt werden, findet er nicht übertrieben, wohl aber die von Rochan, welcher diese Gröfse im Maximum auf 600 Fufs setzt[4]. Offenbar zu klein ist die Angabe, wonach Mariotte[5] die Geschwindigkeit eines heftigen Sturmes auf nicht mehr als 32 Fufs in 1 Sec. setzt; näher schon kommt die Bestimmung von Derham[6], welcher aus seinen Messungen

---

1 Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels. Hamburg 1790. 4. Vergl. Art. *Strom*. Bd. VIII. S. 1187.

2 Vergl. Art. *Windmesser*.

3 Beiträge zur Witterungskunde. S. 384.

4 Diese Bestimmung beruht auf der Schätzung des heftigen Sturmes, welchen er 1771 auf Isle de France erlebte, wobei das Barometer 25 Lin. fiel. Uebrigens bestimmt er die Geschwindigkeit der Stürme zu 152 Fufs. S. Voyage à Madagascar. Par. 1791.

5 Musschenbroek Introd. T. II. §. 2615.

6 Philos. Trans. N. 114 u. 313.

66 und 81 engl. Fuſs fand; doch war die Heftigkeit des Sturmes so groſs, daſs er eine steinerne Säule von 12 Fuſs Höhe, 5 F. Breite und 2 F. Dicke abbrach. Für den heftigen Sturm, welchen Kraft[1] zu Petersburg im Jahre 1741 beobachtete, bestimmte er die Geschwindigkeit zu 109,7 uud ein anderes Mal zu 123 Fuſs. Am meisten bekannt sind die Bestimmungen, welche John Smeaton[2] von einem gewissen Rouse erhielt, und in der nachfolgenden Tabelle zusammenstellte, worin die Geschwindigkeit in engl. Fuſs für 1 Secunde und die Kraft gegen einen engl. Quadratfuſs Fläche in Pfunden Avoir-du-poids-Gewicht angegeben sind.

Benennung der Winde[3]	Geschwindigkeit		Kraft	
Kaum wahrnehmbar	1,47	Fuſs	0,005	Pfund
Eben wahrnehmbar (*Just perceptible*)	2,93	—	0,020	—
	4,44	—	0,044	—
Angenehmer Wind (*Gentle pleasant wind*)	5,87	—	0,079	—
	7,33	—	0,123	—
Angenehm lebhafter Wind (*Pleasant prisk gale*) . . .	14,67	—	0,492	—
	22,00	—	1,107	—
Sehr lebhafter Wind (*Very brisk*)	29,34	—	1,968	—
	36,67	—	3,075	—
Starker Wind (*High Wind*)	44,01	—	4,429	—
	51,34	—	6,027	—
Sehr starker Wind (*Very high wind*)	58,68	—	7,873	—
	66,01	—	9,963	—
Sturm	73,35	—	12,300	—
Starker Sturm	88,02	—	17,715	
Hurrican	117,36	—	31,490	
Stärkster Hurrican	146,70	—	49,200	

Mit weit mehr Sicherheit, als die bisher angegebenen Mittel gewähren, lieſse sich die Geschwindigkeit des Windes aus

1 Comment. Petrop. T. XIII. p. 380.

2 Philos. Trans. 1759. p. 165.

3 Die englischen Seefahrer bezeichnen die Winde nach ihrer zunehmenden Geschwindigkeit durch folgende Namen: *Calm; inclinable to calm; light air; gentle breeze; moderate breeze; brisk breeze; fresh breeze; strong breeze; briskgale; fresh gale; strong gale; hard gale; very hard gale; excessiv hard gale; hurricane.* Scoresby nennt mit Recht diese Bezeichnungen keineswegs genau. S. Account of the arctic Regions. T. I. p. 396.

dem Drucke berechnen, welchen er gegen gegebene Flächen ausübt[1], und namentlich würde sich hierzu, der schon erwähnten Schwierigkeiten ungeachtet, das durch LIND erfundene Anemometer eignen, allein mir sind keine hiermit angestellte Messungen bekannt geworden. Aus den Verheerungen, welche heftige *Stürme* oft anrichten, läfst sich die dazu erforderliche Kraft wohl niemals mit Genauigkeit bestimmen, und noch weniger daher die Geschwindigkeit derselben ableiten, inzwischen sind sie auf jeden Fall von der Art, dafs sie im Allgemeinen Interesse erregen, und mindestens eine annähernde Vorstellung von der aufserordentlichen, ihnen zugehörigen Geschwindigkeit der Luftbewegung geben, weswegen einige der vorzüglichsten Beispiele dieser Art hier nicht fehlen dürfen. Stürme, mitunter auch heftige, hat gewifs jeder erlebt; die beschriebenen mögen daher hauptsächlich nur zur Vergleichung dienen.

96) Im Jahre 1680 wurde zu Warschau ein Kirchthurm mit Glocken und allem Zubehör abgehoben, und auf ein benachbartes Haus geführt, am 7ten Juni desselben Jahres aber stürzte ein Orkan in Frankreich mehrere Kirchen und Schlösser um, und führte einen Kirchthurm mit seinen Glocken 100 Schritt weit fort[2]. MUSCHENBROEK[3] erwähnt einen Sturm, welcher im Jahre 1749 am 8ten Aug. in Schlesien 17 Windmühlen umwarf, während in Leiden vollkommene Windstille herrschte. Küsten der Continente und Inseln sind wohl vorzugsweise heftigen Stürmen ausgesetzt, weil die Gegenstände auf dem Lande, insbesondere Berge, die Geschwindigkeit der Luftbewegung bedeutend vermindern, wie denn auch auf baumlosen Höhen die gewöhnlichen Winde ungleich stärker sind, als auf dem benachbarten Flachlande, und tiefer im europäischen Continente gelangt man sicher zu keiner deutlichen Vorstellung von der Heftigkeit der Stürme an den Küsten und auf dem Meere. Ein heftiger, weit ausgebreiteter Orkan wüthete am 31sten Dec. 1789 und am folgenden Tage an den Küsten von österreichisch Flandern, welcher mit starkem Blitzen und Donnern begann. Zu Artois wurden fast alle Bäume mit

1 Die Schwierigkeiten, welche genauen Messungen durch dieses Mittel entgegenstehn, findet man gröfstentheils in Art. *Widerstand*, namentl. §. 7, angegeben.

2 Journ. des Savans. 1680. p. 241.

3 Introductio. T. II. §. 2615.

den Wurzeln ausgerissen, Dächer abgedeckt, Schober von Korn, Hülsenfrüchten und Heu fortgerissen, eine Menge Häuser und Mühlen umgestürzt, und die Menschen sowohl, als auch das Vieh unter den Ruinen begraben. Man hörte das Brausen des Meeres auf fünf Meilen Entfernung, und aufser andern wurden allein zehn englische Schiffe auf das Ufer getrieben, die Brücke des Schlosses nebst dessen Thürmchen wurden in den Graben geworfen; der Thurm der Kirche Notre Dame zu Aix stürzte ein, und die Abtei Ravensberg blieb ihrer Festigkeit ungeachtet nicht unerschüttert. Auch zu Calais wüthete der Sturm, nicht minder zu Boulogne, wo Häuser erschüttert, Schornsteine herabgestürzt, Dächer fortgeführt, Fenster eingedrückt und Bäume mit den Wurzeln ausgerissen wurden. Zu Amsterdam stieg das Wasser 56 Zoll über das gewöhnliche Mafs, und zu Deal in England war der angerichtete Schaden bedeutend. Ein ähnlicher heftiger Sturm wüthete den 14ten Jan. 1808 an Hollands Küsten, und die gleichzeitig eintretende Springfluth machte die Verheerung noch gröfser. Brügge kam ganz unter Wasser, bei Gent bedeckte die Fluth durch Deichbrüche 20000 Morgen Landes, wobei viele Menschen und eine Menge Vieh ertranken. Seit 1531 hatte das Wasser eine solche Höhe nicht erreicht, ja man fand diese zu Antwerpen, wo allein in einer Strafse 29 Menschen ertranken, noch 1,5 Fufs höher, als damals. Am 12ten Febr. desselben Jahres beschädigte ein gleichfalls heftiger Sturm mehrere Schiffe zu Havre, warf zu Cherbourg das Fort Napoleon nebst dem Damme um, wobei 400 Menschen umkamen. Der Sturm war von Schneegestöber begleitet, und in der Schweiz fiel eine solche Menge Schnee, dafs zu Neufchatel die Wege verschüttet und zu Bumplitz ein Bach verstopft wurde, welcher eine Ueberschwemmung erzeugte. Es lassen sich hier die heftigen Sturmfluthen anreihen, welche um Weihnachten des Jahres 1824 in eben jenen Gegenden vom westlichen Anfange des Canals bis zum Finnischen Meerbusen hin grofse Verheerungen anrichteten, und sich zugleich durch ihre lange Dauer vom Monat September bis zum Ende des Jahres, wenn gleich nicht stets mit gleicher Heftigkeit, auszeichneten, ja sogar sich im folgenden Jahre wiederholten[1], wo im Sommer der wüthende Orkan die Insel

1 Die Nachrichten über diese Stürme sind aus öffentlichen Blättern entnommen. Vergl. v. Hoff in Poggendorff's Ann. XII. 576.

Guadeloupe verheerte. Genaue Beobachtungen der meteorologischen Instrumente zu Brüssel bei dem heftigen Sturme in Belgien am 29sten Nov. 1836, welcher sich bis an die Küsten der Nordsee erstreckte, bestätigen den oben ausgesprochenen Satz, dafs die Geschwindigkeit der Luftströmung gröfser ist, als sie nach dem blofsen Unterschiede der Quecksilberhöhe seyn könnte, denn das auf 0° C. reducirte Barometer sank vom 28. um 9 Uhr Abends, bis zum 29sten um 3 Uhr Nachmittags nur von 747,33 bis 738,46, also um 8,87 Millimeter, welches nach der im ersten Abschnitt mitgetheilten Formel nur 14,58 Fufs Geschwindigkeit in 1 Secunde geben würde. Dagegen sind die heftigen Stürme in diesen Gegenden stets von ungewöhnlicher Wärme begleitet, ja man darf die letztern wohl als sicheres Vorzeichen der ersteren betrachten, und wirklich zeigte auch das Thermometer zur Zeit der gröfsten Heftigkeit 17°,2 C. In den meisten Fällen geht indefs Windstille und ungewöhnlich warme, feuchte Luft den Stürmen in diesen Gegenden voraus. Merkwürdig ist aber, dafs die Stürme an den Küsten der Nordsee vorzugsweise dem Monat November angehören[1]. So herrschte aufser dem erwähnten dort ein Sturm am 26sten Nov. 1282, welcher den See Flivo mit dem Meere vereinigte und den Zuidersee bildete, am 19ten Nov. 1421, welcher 72 Dörfer verheerte und gegen 100000 Menschen des Lebens beraubte, am 5ten Nov. 1430, welcher Hollands Deiche zerstörte, am 22sten Nov. 1686, wobei 25 Dörfer mit mehr als 10000 Menschen vom Meere bedeckt wurden, am 11ten Nov. 1775, welcher grofsen Schaden, namentlich in den Niederlanden, anrichtete, und am 9ten Nov. 1800, wobei der Orkan sich über einen grofsen Theil des nordwestlichen Europa's erstreckte. Letzteren, und die ihm vorausgehende unnatürliche Wärme beobachtete ich selbst zu Hannover, wo die stärksten Lindenbäume zerbrochen, auf dem Harze aber 200000 Tannen ausgerissen wurden. Im Main zwischen Frankfurt und Mainz gingen mehrere Schiffe unter, Flanderns Küste zwischen Ostende und Dünkirchen war mit Trümmern und Leichen bedeckt, zu Dünkirchen berechnete man den angerichteten Schaden auf 100000, zu Calais auf 200000 Franken, zu Gravelines aber kamen viele Menschen in der Kirche um, weil der Thurm auf dieselbe herabfiel.

1 S. Précurseur d'Anvers. 1836. Nov.

Einen heftigen Sturm, welcher am 7ten Jan. 1839 die Gegend von Dumfries an der Seeküste Schottlands verheerte, beschreibt Garden[1] zunächst nach den Beschädigungen, welche er an einem abgesondert liegenden Hause anrichtete. Derselbe begann mit einzelnen Windstöfsen, welche mit Windstillen abwechselten, aus OSO, drehete sich im weiteren Verlaufe durch O., S., W. und hörte in NW. auf. Das Barometer sank während desselben um 1,5 engl. Z., und als er seine gröfste Stärke noch nicht erreicht hatte, wurde seine Geschwindigkeit auf 40 engl. Meilen in der Stunde, also 55 Par. Fufs in 1 Secunde, geschätzt. Nachdem er in der Nacht vom 6ten zum 7ten Januar etwas nachgelassen, dann sich durch S. nach W. gedreht hatte, fing er mit erneuerter Wuth wieder an, hob unter andern eine Masse Blei, zwei Tonnen schwer, womit die Platform des Hauses gedeckt war, ab, und führte sie durch die Luft fort; sogar die steinernen Platten, womit die Küche getäfelt war, bebten, und einige ausgerissene Bäume hatten mit ihren Wurzeln eine Masse des Thonbodens von zwei bis drei Tonnen Gewicht in die Höhe gehoben.

Zu den stärksten Sturmwinden gehören diejenigen, welche der im südlichen Frankreich herrschende Mistral (§. 40 u. 48) nicht selten auf dem Lande, und in seiner Fortsetzung auf dem mittelländischen Meere bis nach Algier hin erzeugt. Nach Fournet[2] durchläuft derselbe 20 Meter in 1 Sec.; der im Jahre 1779 tobende übte einen Druck von 3 Kilogramm gegen eine Fläche von 1 Quadratfufs Inhalt aus (was nach der Tabelle §. 95 ungefähr zu 66 engl. F. Geschwindigkeit gehört), im Jahre 1767 und 1780 war er noch heftiger, am gewaltsamsten aber am 30sten Oct. 1782, dem stärksten, welcher bis jetzt beobachtet wurde, denn nach Lamanon leistete er einen Druck von mehr als 6 Kilogramm gegen eine gleich grofse Fläche, und würde alles zerstört haben, wenn er bei dieser Stärke nur einige Minuten lang gedauert hätte. Hiernach darf

1 Lond. and Edinb. Philos. Mag. N. XC. p. 360. Eine Beschreibung der verheerenden Stürme, welche im Jahre 1838 Grofsbritannien trafen, findet man in Edinburgh New Philos. Journal. N. LIII. p. 203.

2 Recherches sur la distribution des Vents dominants en France (1841).

man sich nicht wundern, wenn erzählt wird, daſs er beladene Wagen umgestürzt und Reiter von ihren Pferden geworfen habe. De Saussure sah mit Verwunderung, daſs die Scheiben im zweiten Stock des Schlosses zu Grignan durch Rollsteine, welche diese Stürme von einer benachbarten Terrasse aufzuheben und gegen sie zu schleudern pflegten, wiederholt zerschlagen wurden, bis man es aufgab, sie wieder herstellen zu lassen.

97) An Norwegens Küsten toben die schrecklichsten Stürme in bedeutender Menge, wozu wohl ohne Zweifel der groſse Unterschied der Temperatur des Meeres und des Landes, namentlich im Winter, viel beiträgt, jedoch sind sie dort weniger verheerend, weil die hohen und steilen Küsten gleiche Ueberschwemmungen, als an den flachen der Niederlande nicht gestatten. Sie zeichnen sich gleichfalls durch bedeutende Wärme aus, und da ihre Richtung stets nordwestlich ist, so darf man hieraus schlieſsen, daſs sie durch die äuſsersten Grenzen des Südwestpassats, den die von Norden her strömende Polarluft zurückdrängt (§. 91), erzeugt werden. Nach den übereinstimmenden Zeugnissen von L. v. Buch[1] und Bedemar[2] toben sie an den Küsten von Finmarken und namentlich in Kielvig mit solcher Wuth, daſs kein Licht und kein Feuer brennend zu erhalten ist, und die Häuser kaum dagegen aushalten würden, wenn sie nicht sehr tief, fast in der Erde ständen, und zugleich drei Ellen dicke Mauern hätten. In Wardoehous darf sich während ihrer Dauer niemand ins Freie wagen, um nicht in Gefahr zu gerathen, in den nahen See geschleudert zu werden. Das Wasser des Meeres wird durch sie zu einer Wolke, in einen Nebel, zerstiebt, welcher die Küste einhüllt, und einst warf ein solcher Sturm ein mit 50 Pfund schweren Steinen beschwertes Dach gleich einem Blatte über ein tiefer stehendes Haus weg. Ihre Zahl an jener Küste ist so groſs, daſs Herzberg binnen zwölf Jahren deren 260 und im Jahre 1798 allein 33 zählte.

98) In der nördlichen kalten Zone, wo im Winter kaum merkbare nördliche Luftbewegung statt findet, im Sommer aber die Winde im höchsten Grade veränderlich, einzelne Wind-

1 Reisen. Th. II. S. 92.
2 Reisen. Th. I. S. 159. Th. II. S. 115.

stöfse sehr häufig, die Richtungen im Ganzen aber nördlich und westlich sind, gehören die heftigsten Stürme aus SW. und S. zu den nicht ungewöhnlichen Erscheinungen. Cranz[1] erzählt, dafs die Stürme in Grönland Zelte und leichtere Kähne in die Höhe heben, das Seewasser wie Schneestaub über das Land hintreiben, und mehrere Pfunde schwere Steine in der Luft fortführen. Diejenigen, welche die Boote in Sicherheit bringen wollen, müssen auf dem Boden hinkriechen, um nicht die Beute des Sturmes zu werden. Die heftigsten dieser Orkane wehen von Süden, gehn dann nach Nord herum, legen sich und es erfolgt heiteres Wetter. Von einem unerhörten Orkane am 6ten Nov. 1809 auf Island erzählt Mackenzie[2], dafs das Seewasser mehrere engl. Meilen weit landeinwärts fortgetrieben, die Kähne in der Bai aber in die Luft gehoben und zertrümmert wurden. Derselbe kam übrigens von Norden, und hielt 24 Stunden an.

Der heftige Sturm am 12ten März 1783, welcher an den Küsten Italiens tobte und einen Centralpunct in der Schweiz gehabt haben soll, ist durch Brandes[3] vorzüglich bekannt geworden, und durch Lampadius[4] der von 1791, welcher in Spandau vorzugsweise wüthete, während in Göttingen SW. und in Königsberg ganz entgegengesetzt NO.–Wind herrschte. Mehrere öffentliche Blätter[5] erzählten von einem ungewöhnlich heftigen Sturme zu Wien, dem gleichfalls eine für die Jahrszeit ungewöhnliche Wärme vorausging, worauf dann nach Bildung dichter Wolken um 1 Uhr Nachts am 30sten Sept. 1807 ein eigentlicher Orkan folgte, dessen Hauptrichtung von W. zu WNW. überging. Derselbe erschütterte die festesten Häuser und machte sie schwanken, und stürzte aufserdem Tausende von Dachziegeln auf die Strafsen herab. Zwischen 3 bis 6 Uhr war die Wirkung am stärksten und ging dann in einen heftigen Wind über. Die Kuppel des Augustiner Kirchthurms war herabgeworfen, und dem Anschein nach in der Luft herumgedreht, was mit der wirbelnden Bewegung der Luft bei

1 History of Greenland. T. I. p. 47.
2 Travels in Iceland during the summer 1810.
3 Beiträge zur Witterungskunde. S. 104.
4 Atmosphärologie. S. 192.
5 Nationalzeitung vom 29sten Oct. 1807.

diesen Meteoren sehr gut übereinstimmt. Ein eisernes Zifferblatt am Michaelisthurme war wie ein Stück Papier aufgerollt, Tausende von Schornsteinen und Feuermauern waren eingestürzt, viele Dächer abgehoben, zahllose Fenster eingedrückt, die Gärten verwüstet, die stärksten Bäume abgebrochen oder ausgerissen, namentlich im Prater in solcher Menge, dafs die Holzhändler sie für 25000 Gulden kauften. Derselbe Sturm verschob zu Zell am Hammersbach in Baden ein neues Haus, und warf das von Hamburg abgegangene Postschiff nahe bei Harburg um, so dafs von 70 Menschen 30 umkamen. Die Heftigkeit der Stürme scheint tiefer im Innern Europa's und weiter nach Osten hin nicht merklich abzunehmen. Von einem Sturme, welcher am 17ten April 1823 zu Grofs-Slawsk in Schlesien wüthete, wird erzählt[1], dafs er eine Breite von nur etwa 200 Schritt einnahm, also einer Landtrombe glich, aber auf dieser Strecke alles verwüstete, die sämmtlichen Ziegel von der Kirche herabschleuderte, mehrere Wohnungen und Scheunen umwarf, und einen mit eisernen Bändern an einem Thurme befestigten Fensterladen mehrere hundert Schritt durch die Lüfte fortführte. Bei Strzello kehrte er das Obere einer Windmühle zu unterst, und warf während drei Minuten zu Kruschwitz eine ganz neue Windmühle, fünf Scheunen und zwei Ställe um. Die Windmühle wirbelte, wie eine von Papier, mit unglaublicher Schnelligkeit über ein Mädchen weg, die sehr erschreckt wurde, als sie gleich darauf aus dem Raume einen Müllerburschen unversehrt hervorkriechen sah. Die Beschreibungen, welche die Reisenden von den Schneestürmen in den Ebenen des südlichen Rufslands machen, sind in der That Schauder erregend, und sie gleichen wahrscheinlich denen, die man auch in Kamtschatka beobachtet[2].

99) Ungleich heftiger sind die nicht seltenen Stürme, welche Westindien verheeren, dann sich umbiegen, und in den Staaten Nordamerica's zwar geringeren, aber immer noch furchtbaren Schaden anrichten. Diese, von denen bereits oben (§. 83) die Rede war, heifsen *Tornados* oder *Trovados* und auch *Hurricanes*[3]; sie haben fast alle den nämlichen Charakter ganz

---

1 Frankf. Zeit. 1823. N. 133.
2 Vergl. Art. *Schnee*. Bd. VIII. S. 565. Vergl. oben §. 44.
3 Das Wort *Huracan* soll nach Oviedo historia general natural de

eigentlicher Wirbelwinde, und sind keineswegs selten, vielmehr kann man jedes Jahr ziemlich sicher auf ein solches Meteor rechnen, die eigentlich heftigen aber folgen meistens einander in Zwischenräumen von wenigen Jahren. Sie beginnen im Allgemeinen in der tropischen Zone, gehn aber auch bis zur subtropischen hinauf, sind am verheerendsten auf den Antillen, treffen aber nach Dauxion-Lavayssé[1] die Inseln Trinidad und Tabago nicht, weil diese durch Berge gegen sie geschützt sind. Zu ihnen können wir denjenigen rechnen, welcher am 6ten und 7ten Nov. 1826 auf Teneriffa wüthete[2], und zugleich mit einem beispiellosen Regengusse verbunden war. Selbst im Hafen zertrümmerte der Orkan einige Schiffe, andere trieb er auf die hohe See, warf unter andern ein americanisches Schiff mit solcher Heftigkeit gegen den Molo, dafs es in Stücke zerschellet mit der ganzen Mannschaft versank, aufser zwei Matrosen, die sich an den Tauen des grofsen Mastes festgeklammert hatten, und auf diese Weise auf den Molo geschleudert wurden, als der Mast beim Stofse in der Mitte zerbrach, und sein eines Ende auf den Molo flog. Durch die mit Steinen gemengten Fluthen wurde eine grofse Bastion in der Bai von Ste. Croix nebst ihrem Geschütz und das feste Schlofs von Candelaria, welches den Hafen von Oretava vertheidigt, bis auf die letzte Spur weggerissen. Im Ganzen kamen 232 Menschen und 936 Stück Vieh um, 307 Häuser wurden ganz weggerissen und 114 beschädigt. Von sehr eigenthümlichen Erscheinungen war der Sturm am 25sten Juli 1825

---

las Indias Liv. VI. in der Sprache von Haiti einen mit Regen begleiteten Sturm bezeichnen. Nach Irving Life of Columbus. T. II. p. 305. nennen die Indianer sie *Furicans* und *Uricans*. S. Edinb. New Phil. Journ. N. IX. p. 186. Der Name *Tornado* aber, wodurch man hauptsächlich die Stürme im atlantischen Ocean an der Westküste Africa's, und auf den Antillen bezeichnet, die nach ihrem Umdrehen und Eindringen in die südlichen Staaten Nordamerica's meistens Huricans heifsen, soll nach Dr. Boyle eine durch die Portugiesen gemachte Corrumpirung des Wortes *Trueno* seyn, was in Sierra Leone einen Sturm mit Donner bezeichnet. S. Edinb. New Phil. Journ. N. XXV. p. 179. Sie gleichen in ihrem Verhalten sehr den Wettersäulen, den Landtromben. S. Art. *Wettersäule* §. 5.

1 Reise nach d. Inseln Trinidad, Tabago und Margarethe u. s. w. übers. von Zimmermann. Weim. 1816. S. 58.

2 Berthollet in Ann. de Chim. T. LVIII. p. 204.

auf Guadaloupe begleitet, von welchem Gay-Lussac[1] nach genauen amtlichen Berichten eine Beschreibung mitgetheilt hat. Viele gut und festgebaute Häuser wurden umgestürzt, Dachziegel mit solcher Gewalt fortgeschleudert, dafs mehrere derselben durch die Thüren in die Magazine drangen, ein tannenes Bret aber, 1 Meter lang, 2,5 Decimeter breit und 23 Millimeter dick, wurde mit solcher Gewalt fortgetrieben, dafs es einen 45 Centimeter dicken Palmbaum durchschnitt. Ein gut gearbeitetes eisernes Gitter vor der Wohnung des Commandanten konnte der Gewalt nicht widerstehn, sondern zerbrach, und selbst drei 24pfündige Kanonen wurden bis an die Brustwehr des Walles fortgeschoben. Am auffallendsten aber ist die auf sicheren Zeugnissen beruhende Angabe, dafs der Wind leuchtend schien, und eine silberfarbene Flamme, welche durch die Risse der Mauern und die Oeffnungen der Schlösser drang, den Sohein gab, als stände der Himmel in Feuer.

100) Etwas Gewöhnliches bei diesen westindischen und überhaupt den tropischen Orkanen ist die Eigenthümlichkeit, dafs der Wind während ihrer Dauer seine Richtung ändert, und meistens den ganzen Kreis des Compasses durchläuft, weswegen nach einer Angabe von Flinders[2] die Bewohner der Antillen noch einen baldigen zweiten Sturm erwarten, wenn der statt gefundene nicht ganz herumgekommen ist, und wirklich erfolgte auch, dieser Erwartung gemäfs, auf den am 20sten Febr. 1806, welcher nur von SW. bis NO. gelangte, nach 14 Tagen ein zweiter, welcher von OSO. nach WSW. herumlief. Eine Drehung, wenn auch eine minder auffallende, ist übrigens allen Stürmen eigenthümlich zugehörend, und man hält diejenigen in der Nordsee für die gefährlichsten, welche in SW. anfangen und sich nach NW. wenden, was auch bei den Wintergewittern an Norwegens Küsten der Fall zu seyn pflegt[3]. Eine zweite Eigenthümlichkeit, welche Le Blond[4] erwähnt, dafs diese Stürme nach vorausgegangerer grofser Hitze und Windstille eiskalt seyn sollen, finde ich durch anderweitige Nachrichten nicht bestätigt, und mufs diese Angabe aus

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXIII. p. 412.
2 Bibliothek der Reisen. Th. LVI. S. 683.
3 S. XXIX. 179.
4 Dessen Reisen. Uebers. von Zimmermann. Th. I. S. 406.

seltenern Ausnahmen entnommen oder ganz falsch seyn. Sehr häufig aber, wo nicht bei den heftigsten allgemein, tritt während des Orkans, ungefähr in der Mitte seiner Zeitdauer, eine gänzliche Windstille ein, worauf der Wind zur ganz entgegengesetzten Richtung übergeht. Dieses eigenthümliche, aus der Wirbelbewegung der Orkane leicht erklärliche Verhalten finden wir bei den Tornados, deren Fortschreiten auf der oben (§. 83) mitgetheilten Charte gezeichnet ist, und worüber wir genaue Beschreibungen besitzen[1]. Dahin gehört der Tornado im August 1831, welcher am 10ten Nachts zu Barbados anfing, am 11ten auf der Insel St. Vincent und St. Lucia tobte, wo er sich südlich bis Granada, nördlich bis Martinique erstreckt, seine gröfste Wuth aber zwischen 12° 30′ und 14° 30′ entwickelt haben soll, am 12ten auf der Küste von Porto Rico anlangte, Nachts zum 13ten über St. Domingo mit südlicher Ausdehnung bis Jamaica fortschritt, am selben Tage auf der Ostseite von Cuba und am 14ten zu Havanna auf der Westseite dieser Insel ankam, am 15ten über das Meer fortschritt, am 16ten und 17ten endlich von der Nordküste des mexicanischen Meerbusens unter etwa 30° N. B. über Pensecola, Mobile und Neu-Orleans sich ausdehnte, wo er bis zum 18ten anhielt, so dafs er im Ganzen von Barbados bis Neu-Orleans 6 Tage gebrauchte[2]. Reid theilt die Beschreibung dieses Sturmes von einem Augenzeugen mit, welcher ihn zu Bridgetown auf Barbados beobachtete[3]. „Nach vorausgegangenem heiteren „Wetter begann der Sturm am 10ten August um 9 Uhr Abends „mit mäfsigem Nordwinde, und eine halbe Stunde später mit „Blitzen in NNO. und NW. Windstöfse und Regenschauer von „NNO., durch Windstillen getrennt, folgten dann bis Mitter„nacht bei 28° C. Temperatur, die während der Windstillen „bis 30° C. stieg. Nach Mitternacht wurde das unausgesetzte „Flammen der Blitze schrecklich, und der Sturm brauste wü-

1 Die Hurricanes vom 1sten Sept. 1821 und von 22sten Aug. 1830 beschreibt Redfield in Silliman's Amer. Journ. T. XX. p. 17., und weiset daher ihre Drehung und evident wirbelnde Bewegung nach. Vergl. ebend. T. XXV. Hft. I. S. 44. Bibl. univ. 1834. Avr. p. 412. Edinburgh New philosoph. Journ. N. XXXV. p. 20.

2 Sillim. Amer. Journ. T. XXI. p. 192.

3 Nach der Uebersetzung von Dove in Poggendorff's Annalen. LII. 28.

„thend von N. und NO. Um 1 Uhr Morgens am 11ten wuchs „die rasende Wuth des Windes, der Orkan wandte sich plötz„lich von NO. nach NW. und den dazwischen liegenden Stri„chen des Compasses. Die oberen Regionen der Atmosphäre „waren unterdeſs von ununterbrochenen Blitzen erleuchtet; aber „diese lebhaften Blitze wurden an Glanz von den Strahlen „elektrischen Feuers übertroffen, welche nach allen Richtungen „hin explodirten. Etwas nach 2 Uhr ward das Heulen des „Orkans, der von NNW. und NW. hereinbrach, so arg, daſs „keine Sprache es zu beschreiben vermag. Lieut. Colonel „Nickle hatte unter einem Fensterbogen des unteren Stock„werks Schutz gesucht, und hörte wegen des Sturmes nicht das „Einstürzen des Daches und des oberen Stockwerks. Um 3 „Uhr nahm der Wind ab, aber wüthende Stöſse kamen ab„wechselnd von SW., W. und W., NW. Einige Augenblicke „hörten auch die Blitze auf, und eine schreckliche Finsterniſs „hüllte die Stadt ein. Feurige Meteore fielen dann vom Him„mel, eins besonders von Kugelform und tief rother Farbe „senkrecht aus einer bedeutenden Höhe. Diese Feuerkugel fiel „entschieden durch ihre eigene Schwere, nicht getrieben durch „eine äuſsere Kraft. Als sie sich mit beschleunigter Geschwin„digkeit der Erde näherte, wurde sie blendend weiſs, und von „länglichter Gestalt. Als sie in Beckwirth-Square den Boden „berührte, spritzte sie rings umher wie geschmolzenes Metall, „und erlosch augenblicklich. Ihre Gestalt und Gröſse war die „einer Lampenglocke, und das Umherspritzen beim Aufstoſsen „gab ihr das Ansehn einer Quecksilberkugel von gleicher „Gröſse[1]. Einige Minuten nach dieser Erscheinung sank das „dumpfe Geräusch des Windes zu einem majestätischen Ge„murmel herab, und die Blitze, welche seit Mitternacht im „Zickzack geleuchtet hatten, erschienen nur eine halbe Stunde „lang mit neuer und erstaunlicher Thätigkeit zwischen den „Wolken und der Erde. Die groſse Dunstmasse schien die

---

1 Nicht selten fällt bei starken Gewittern eine feurige Masse, gleich einer Kugel, herab, ohne zu zünden und selbst ohne heftigen Knall, wie dieses namentlich zu Heiligenstadt im Jahre 1812 nach westphäl. Moniteur Nr. 63 von vielen Augenzeugen beobachtet wurde. Der Beschreibung nach glich das Meteor zu Barbados mehr einer Feuerkugel mit herabfallenden Meteorsteinen, allein ich bin geneigt, es vielmehr für einen solchen Blitz zu halten.

„Häuser zu berühren und sendete Flammen niederwärts, die „schnell wieder aufwärts von der Erde zurückschlugen. Augenblicklich nachher brach der Orkan von W. wieder herein „mit unbeschreiblicher Gewalt, tausend Trümmer als Geschosse vor sich her treibend. Die festesten Gebäude erbebten „in ihren Grundmauern, ja die Erde selbst zitterte, als der „Zerstörer über sie hinwegschritt. Kein Donner war zu hören, „denn das gräſsliche Geheul des Windes, das Brausen des „Oceans, dessen mächtige Wellen alles zu zerstören drohten, „was die andern Elemente etwa verschonen möchten; das Gerassel der Ziegel, das Zusammenstürzen der Dächer und „Mauern, und die Vereinigung von tausend andern Tönen, bildeten ein Entsetzen erregendes Geräusch. Nach 5 Uhr lieſs „der Sturm einige Augenblicke nach, und da hörte man deutlich das Fallen der Ziegel und Bausteine, welche durch den „letzten Windstoſs wahrscheinlich bis zu bedeutenden Höhen „waren fortgerissen worden. Um 6 Uhr war der Wind S., um „7 Uhr SO., um 9 Uhr schönes Wetter. Sobald die Dämmerung die Gegenstände sichtbar machte, ging der Berichterstatter auf den Kai. Der Regen schlug so heftig herab, daſs er „die Haut verletzte, und so dicht, daſs man nur bis zur Spitze „des Dammes sehn konnte. Die Wogen rollten so gigantisch „herbei, als böten sie jeder Zerstörung Trotz, so wie sie aber sich „an der Werfte brachen, verloren sie sich unter den Trümmern jeder Art. Balken, Schiffstaue, Tonnen, Kaufmannsgüter bildeten eine zusammenhängende, undulirende Masse. „Nur zwei Schiffe waren aufrecht, viele umgekehrt, oder lagen „auf der Leeseite in seichtem Wasser. Vom Thurme der Kathedrale zeigte sich ein Bild allgemeiner Zerstörung; der Anblick der Gegend war der einer Wüste, nirgend eine Spur „von Vegetation, einige Flecke welken Grün's ausgenommen. „Der Boden sah aus, als wenn Feuer durch das Land gegangen „wäre, welches alles versengt und verbrannt hätte. Einige „wenige stehn gebliebene Bäume, ihrer Blätter und Zweige beraubt, gewährte einen kalten, winterlichen Anblick, und die „zahlreichen Landsitze in der Umgebung von Bridgetown, früher von dichten Gebüschen beschattet, lagen nun frei in Trümmern"[1].

---

1 Der Schaden, welchen derselbe auf Barbados anrichtete, wurde

101) Noch merkwürdiger ist der Orkan vom 10ten Oct. 1780, welcher durch die Zerstörung der englischen Kriegsflotte unter Rodney sehr bekannt wurde, und den eben beschriebenen an Heftigkeit noch übertraf[1]. Schon 7 Tage früher zerstörte ein Sturm zu Jamaica die Schiffe Scarborough, Barbados, Victor und Phönix; aber die Princefs Royal, der Henry und der Austin Hall, die in Savanna la Mar von den Ankern gerissen und in die Moräste getrieben waren, wurden so hoch auf das feste Land gehoben, dafs sie den überlebenden Einwohnern zur Wohnung dienten.

Die Breite des Sturmes vom 10ten Oct. war gleich anfangs so grofs, dafs er die äufsersten Grenzen der kleinen Antillen, Trinidad und Antigua, gleichzeitig umfafste, während sein Centrum über Barbados nach St. Lucia fortrückte, wo Admiral Hotham mit den Schiffen Vengeance, Montague, Egmont, Ajax, Alcmene und Amazone lag. Darauf traf er an der Südküste von Martinique das französische Convoy von zwei Fregatten und funfzig Transportschiffen mit 5000 Mann Truppen, wovon nur 6 bis 7 Schiffe sich retteten. Von hier rückte das Centrum über Portorico, wo der Deal Castle scheiterte, nach der Insel Mona, beschädigte das englische Convoy bedeutend, dann weiter nach den Silver-Keys, wo der Stirling Casle unterging. An welcher Stelle der von St. Lucia nach Jamaica segelnde Thunderer, auf welchem der Commodore Walsingham seine Flagge aufgezogen hatte, verloren gegangen sey, ist niemals bekannt geworden. Unter 26° N. B. wandte sich der Orkan nach NO. und traf die zu Savana la Mar entmasteten Schiffe Trident, Ruby, Bristol, Hector und Grafton unter Admiral Rowley, wandte sich dann nach den Bermudas-Inseln, und holte den früher schon unbrauchbar gewordenen Berwick auf seiner Rückkehr nach England ein. Nicht minder verheerend, als bei den Schiffen, wüthete der Orkan auf den Inseln. Auf Martinique kamen 9000 Menschen um, 1000 allein in St. Pierre, wo kein Haus stehn blieb, da das Meer 25 Fufs hoch anschwoll, und 150 Häuser am Ufer in einem Au-

---

auf 2311729 Lstl. geschätzt, die Zahl der umgekommenen Menschen betrug 2500 und der verwundeten 5000. S. Edinburgh New Phil. Journ. N. XXVII. p. 180.

1 Beschreibung ebendaselbst, hier etwas abgekürzt.

genblicke verschwanden. In Fort Royal wurden die Kathedrale, sieben Kirchen, 1400 Häuser umgestürzt, und unter den Ruinen des Hospitals 1600 Kranke begraben, von denen nur wenige sich retteten. In Domenica wurden fast alle am Ufer stehende Häuser fortgerissen, die königliche Bäckerei, die Magazine und ein Theil der Kasernen zerstört. In St. Eustach zerschellte der Sturm 7 Schiffe am Felsen von North-Point, und von 19 Schiffen, die er von ihren Ankern losgerissen ins Meer trieb, kehrte nur ein einziges zurück. In St. Lucia, wo 6000 Menschen den Tod fanden, wurden die festesten Gebäude bis zu ihren Fundamenten zerstört, Kanonen mehr als 100 Fuſs weit fortgeschoben, Menschen und Thiere vom Boden aufgehoben und mehrere Schritte weit fortgeschleudert. Die See schwoll so hoch an, daſs sie das Fort zerstörte und ein Schiff am Seehospital zerschellte. Sogar die Corallendecke des Meerbodens ward zerrissen und Stücke davon so in die Höhe geworfen, daſs sie später über dem Wasser sichtbar waren. Von 600 Häusern zu Kingstown auf St. Vincent blieben nur 14 stehen, und Sir George Rodney sagt in seinem amtlichen Berichte: „nur meine eigene Anschauung hat mich von der „Möglichkeit überzeugen können, daſs der Wind eine so gänz-„liche Zerstörung einer so blühenden Insel, als Barbados, her-„vorzubringen vermag.“ Auf den Leeward-Inseln zog sich die Familie des Gouverneurs, als der Sturm heftiger wurde, in die Mitte des Hauses zurück, welches wegen seiner drei Fuſs dicken Mauern hinlänglichen Schutz versprach, dennoch aber brach der Wind durch, man floh in den Keller, aber hier stieg das Wasser vier Fuſs hoch, man rettete sich nach der Batterie, und suchte unter den Kanonen Schutz, aber einige Zwölfpfünder wurden 420 Fuſs weit fortgetrieben. Als der Tag anbrach, glich die Gegend einer Winterlandschaft, kein Blatt, kein Ast war an den Bäumen zu sehn.

102) Wenn gleich nicht alle Tornados der westindischen Inseln nach ihrer Umbiegung so weit fortrücken, daſs sie dann später in den nordamericanischen Provinzen toben, so ist dieses doch bei vielen der Fall. Die hier sich zeigenden Hurricans sind zwar minder heftig, aber doch unglaublich zerstörend und so zahlreich, daſs man mit Wahrscheinlichkeit alle Jahre einen oder einige zu erwarten hat. Da sie in ihren Wirkungen einander ähnlich sind, so genügt es, einige derselben aus den

letzten Jahren namhaft zu machen. Einen solchen, welcher am 25sten Juli 1838 einen Theil des Districts Allegany verheerte, beschreibt W. Gaylord[1]. Der Tag war heiſs und die Luft schwül, die Windrichtung von W. gen N. nach S. gen O. Anfangs zeigte er sich in Rushford als bloſser Gewittersturm, nahm aber bald an Heftigkeit sehr zu, und riſs alles mit sich fort, was ihm im Wege stand. Einige Districte auf seinem Zuge traf er weniger, andere dagegen so stark, daſs ganze Waldungen gänzlich zerstört wurden, wobei er sprungweise sich bald zu erheben, bald gegen die Erde zu stürzen schien. In der Stadt Belfast ging er über den Fluſs Genesee in der Breite von 1 bis 1,5 engl. Meilen, indem er in seiner Mitte in einer Breite von ungefähr 0,75 Meilen die stärksten Eichen buchstäblich abbrach und die Häuser gänzlich zerstörte, an den Seiten aber letztere bloſs abdeckte. An einigen Stellen waren die Bäume in einer Höhe von 20 bis 30 Fuſs abgebrochen, an andern mit der Wurzel ausgerissen, und dieses schien durch eine wirbelnde Bewegung geschehn zu seyn. Manche Gegenstände wurden vom Wirbelwinde in die Höhe gehoben, wie denn unter andern ein Mann und seine Pferde nebst dem Wagen aufgehoben und nach verschiedenen Richtungen umhergeschleudert waren. Am 31sten Juli 1839 beobachtete Olmsted[2] einen Tornado zu New-Haven, und untersuchte nachher die durch ihn angerichteten Verheerungen genauer. Der Tag war gleichfalls schwül, und es schien ein Gewitter zu nahen, welches sich in W. bildete, während der Wind aus SO. blies, dann nach S. herumlief, und demnächst mit Heftigkeit aus W. tobte, begleitet von einem starken Getöse in der Luft. Olmsted betrachtete selbst die von ihm verursachten Zerstörungen, und verglich die Nachrichten mehrerer Augenzeugen. Alle Bäume auf seinem Zuge waren abgebrochen oder ausgerissen, die Häuser und Scheunen ungestürzt oder abgedeckt, und die Früchte auf den Feldern niedergedrückt. Die Länge der verheerten Strecke betrug übrigens nur 4 engl. Meilen, und die Breite etwa 60 Faden. Die Augenzeugen beschrieben den Sturm als eine weiſse Schneewolke mit innerer Bewegung, die sich über

1 Silliman Amer. Journ. T. XXXVII. p. 91. Vergl. T. XXXVIII. p. 71. Den Sturm im Sept. 1821 beschreibt Hubbard in Silliman's Amer. Journ. T. XXXV. p. 233.

2 Ebendaselbst. S. 340.

die Hügel herabkommend in die Ebene stürzte; die umgeworfenen Bäume an den Seiten lagen nach der Mitte hin gerichtet, die in der Mitte selbst nach der Richtung des Sturms, und eben nach dieser Mitte hin lagen die Bruchstücke der zerstörten Häuser; nur selten waren einige Gegenstände nach allen Seiten hin zerstreut. Als Einzelnheiten werden erwähnt, dafs Hühner ihrer Federn beraubt waren; ein Schoppen wurde zerstört, und ein darin stehender Wagen weit fortgeschleudert, doch schien dieser und die fortgetragenen Bäume mit Heftigkeit gegen die Erde gestofsen worden zu seyn. Die Beine der Tische und die Flügel der Thüren lagen nach verschiedenen Seiten hin geworfen, in einem einzigen Falle aber schienen die Wände einer Scheune sämmtlich nach aufsen gedrückt zu seyn. Der Beschreibung nach war dieses Meteor entweder eine Landtrombe oder grenzte wenigstens sehr nahe daran[1].

103) Im Allgemeinen kannte man diese Orkane, namentlich der südlichen nordamericanischen Staaten, schon lange, die neuesten, tiefer eindringenden Untersuchungen haben jedoch ihren Ursprung, ihr Fortschreiten und die eigentliche Beschaffenheit derselben genauer kennen gelehrt. Nach den Erfahrungen, welche Dunbar[2] während seines mehrjährigen Aufenthalts zu La Forèt am Mississippi in der Nähe von Neuorleans machte, kommen dort kurzdauernde heftige Windstöfse zu allen Jahreszeiten vor, mit Ausnahme der Monate Mai und October[3], die die angenehmsten im ganzen Jahre sind, und wehn aus allen Richtungen des Compasses. Kurz dauernde, kaum einige Minuten anhaltende Windstöfse mit Regen, die sogenann- *Squalls*, kommen in allen Jahrszeiten, meistens aus NNO., sind aber dennoch nicht selten so heftig, dafs sie Bäume ausreifsen, Häuser umstürzen und die Früchte durch die Lüfte fortführen. Dunbar erlebte in den Jahren 1799 und 1800 zwei

1 Sonstige Beschreibungen dieser heftigen Orkane in den nordamericanischen Staaten haben unter andern Audubon in Edinb. New Phil. Journ. N. XXIV. p. 278 mitgetheilt.

2 Transact. of the Amer. Soc. of Philad. T. VI. p. 1. Biblioth. Brit. 1808. Juin. G. XXXI. 430.

3 Die sämmtlichen, auf der Charte gezeichneten Stürme fallen in den August und September; der von 1780 im October gelangte nicht bis zu den nordamericanischen Küsten.

heftige Orkane, beide im Monat August. Der erste, während dessen er sich zu Neuorleans befand, beraubte mehr als die Hälfte der Häuser dieser Stadt ihrer Dächer, und stürzte einige sogar um; der um diese Zeit in der Regel sehr niedrige Missisippi wurde aus seinen Ufern getrieben, und seine Fluthen führten den Rest der Ernte fort, der noch nicht eingesammelt war. In einer Ausdehnung von einigen französischen Meilen ober- und unterhalb der Stadt hatten die Wälder ein winterliches Ansehn wegen des abgerissenen Laubes; auf einigen Strecken waren die Bäume sämmtlich umgeworfen, und die abgeschlagenen Zweige machten die Wege ungangbar. Der Orkan, welcher übrigens keineswegs zu den heftigsten jener Gegenden gehörte, blies drei Stunden aus O. oder SO., dann trat eine völlige Windstille ein, die einen furchtbaren Eindruck machte, weil es schien, als wolle die Natur wieder in ihr Chaos zurückkehren; auch empfand man während derselben eine Abspannung und Erschlaffung, wie sie der Sirocco zu erzeugen pflegt. Sie dauerte etwa 5 bis 6 Minuten, worauf der Orkan gerade aus der entgegengesetzten Richtung, aber mit gleicher oder noch gröfserer Heftigkeit, hereinbrach. Körper, die auf dem Strome schwammen, und vorher mit grofser Heftigkeit aufwärts getrieben waren, kehrten jetzt mit erstaunlicher Geschwindigkeit zurück. Man sah Schiffe, die aufs Trockne getrieben, andere, die am Ufer zertrümmert waren, und ein ins Meer gejagtes bewaffnetes americanisches Schiff kam nie wieder zum Vorschein.

104) Wie überhaupt in der tropischen Zone, sind auch an der Sierra-Leone-Küste die heftigen, in der Regel nur kurze Zeit dauernden Stürme Begleiter der periodischen Regen, namentlich beim Anfange und Ende derselben[1]. Es entsteht dann am östlichen Horizonte eine kleine Wolke, die sich unter zunehmend stärkerem Blitzen und Donnern allmälig vergröfsert, bis sie den ganzen Himmel, etwa mit Ausnahme eines kleinen Streifes im Westen, in tiefes Dunkel einhüllt. Unterdefs herrscht völlige Windstille, oder es wehen nur sehr gelinde, meistens Wirbelwinde, bis plötzlich der Orkan mit

1 Winterbottom Nachrichten von der Sierra-Leone-Küste S. 36. Golberry Fragmens T. II. p. 486.

verheerender Wuth losbricht. Nach dem Berichte des Dr. Boyle[1] machen zwei oder drei Tornados an der Westküste Africa's, hauptsächlich zu Sierra Leone, wo sie am heftigsten sind, den Uebergang von der nassen zur angenehmen trocknen Jahreszeit, weswegen man sich dort danach sehnt. Das Eigenthümliche dieser Stürme besteht in der Bildung einer dünnen Wolke, die sich bis zum östlichen Horizonte herabsenkt, worauf dann eine ängstliche, beklemmende Stille folgt, die sehr bald durch die heftigsten Blitze aus den unterdeſs entstandenen und vom Horizonte aufsteigenden, schwarzen Wolken mit ununterbrochenem Donner ausfahren. Der alsdann folgende Sturm wirft Häuser und Bäume um, am nachtheiligsten aber ist die Fluth, welche von den höheren Gegenden herabflieſst, und durch den Regen entsteht, der nicht tropfenweise, sondern als herabgeschüttetes Wasser aus den Wolken fällt. Auffallend sind die verheerenden Wirkungen der Blitze, die jedesmal mehrere Bäume und Häuser treffen, sie bedeutend beschädigen und nicht selten gänzlich zerstören, wobei zuweilen die sämmtlichen Bewohner der letzteren erschlagen werden. Auf der See verliert die Oberfläche des Wassers unmittelbar vor dem Ausbruche des Sturmes ihre Glätte, und wird mit einem weiſsen Schaume bedeckt, worauf dann die Wellen sich aufthürmen und alles zu verheeren drohen; doch sind sie minder gefährlich wegen ihrer kurzen Dauer, und weil die Schiffer sich darauf vorbereiten können. Sind sie ohne Regen, in welchem Falle sie am heftigsten toben, so nennt man sie *weiſse Tornados*. Eschwege[2] beschreibt die Gewitterstürme, wie er einen solchen, noch obendrein während der Nacht, in den Urwäldern Brasiliens erlebte, als höchst furchtbar, und ihr Getöse so Schrecken erregend, daſs die Angst, womit sie erfüllen, diejenige weit übertrifft, die man auf dem Meere empfindet, weil man sich an das Toben des Orkans und das Brausen der Wogen in einem wasserdichten und gehörig vorbereiteten Schiffe auf offener See bald gewöhnt, und sich in der Cajüte ruhig schaukeln läſst.

105) In Abyssinien ist, wie überhaupt in der tropischen

1 Medical topography of the western coast of Africa. In Edinburgh New philos. Journ. N. XXV. p. 178.

2 Brasilien, die neue Welt. Th. II. S. 19.

Zone, die Regenzeit mit Stürmen verbunden, die häufig sehr heftig sind und in wahre Orkane übergehn, indem die tropische Regenzeit eigentlich nichts anderes ist, als ein drei bis vier Monate dauerndes Aufeinanderfolgen häufiger Gewitter aus Süden. Nach Russegger[1] beginnt diese unter dem Aequator bereits im Mai und ist fast mit täglichen Gewittern verbunden, unter 12° bis 14° N. B. ist sie durch Zwischenräume von 8 bis 14 Tagen heiteren Wetters unterbrochen, unter dem 15ten Grade beginnt sie erst im Juni und unter dem 18ten Grade N. B. kann man die Grenze der tropischen Regen annehmen, obgleich auch dort starke Gewitter, hauptsächlich aus SO. und SW., nicht selten vorkommen, noch weiter nördlich regnet es fast gar nicht. Ein solches Gewitter, welches die Araber *Habuba* nennen, erlebte Russegger auf seiner Rückkehr von Kordofan nach Sennaar. Die Stürme dabei gleichen vollkommen dem wirbelnden Chamsin, sind indefs nicht heifs. Das Gewitter erhob sich um 2 Uhr Nachmittags nach drückender Hitze; dicke, schwarz, grau und roth gefärbte, dem Rauche einer brennenden Stadt gleichende Wolkenmassen, wälzten sich auf dem Boden hin, überschritten den Bacher-Abierd, dessen Wasser hoch aufgethürmt wurde, während der Sturm brausete, die Thiere heulten und der Regen in Strömen herabfiel. Vor dem Regen führt der Wirbelwind eine solche Menge Sand und Staub mit sich, dafs man es unmöglich im Freien aushalten kann. Bei einem zweiten Sturme, den Russegger zu Obeihd in Kordofan erlebte, war die Wärme vorher 41°,22, nachher 10° C., in beiden Fällen war die Elektricität so stark, dafs aus dem von der Wetterstange in das Zelt herabgehenden Drahte Funken ausbrachen; nach dem Regen ging sie aber auf 0 herab.

106) Auch das Vorgebirge der guten Hoffnung ist wegen seiner häufigen und mitunter heftigen Stürme bekannt. Campbell[2] erzählt von Winden, die an der Grenze der Cap-Colonie nur eine Minute lang von NO. wehen, und auf die dann völlige Windstille folgt, die dabei aber so heftig sind, dafs sie fast die Wagen umwerfen. Ihr Wechsel erfolgt meistens innerhalb 10 Minuten. Ungleich heftiger aber sind die Winde, die vom Meere her die Capstadt treffen, von denen Labillardière

1 Baumgartner u. v. Holger Zeitschr. Th. V. S. 262.

2 Reisen in Africa. Weim. 1823. S. 17.

und andere erzählen. Sie haben eine solche Gewalt, dafs sie nicht blofs den Schiffen im Hafen gefährlich werden, sondern selbst kleine Steinchen von etwa 4 Lin. Durchmesser mit grofser Gewalt in Mannshöhe vor sich her treiben, wodurch die Menschen gezwungen werden, in den Häusern Schutz zu suchen. Lichtenstein[1] erlebte während seines Aufenthalts auf dem Cap einen heftigen Sturm, welcher grofse alte Eichen vor einem Hause der Colonie aller ihrer Blätter, so wie auch der gesundesten, stärksten Aeste beraubte. Zugleich fiel ein so starker Regen, dafs der Flufs zu einer beispiellosen Höhe anschwoll. Alle in der Tafelbai liegende Schiffe wurden von ihren Ankern gerissen, und die meisten derselben, auch die schöne französische Fregatte Atalante, scheiterten am Strande. Zu den wüthendsten Stürmen aber gehören diejenigen, welche an der Ostküste von Südafrica toben und auf jeden Fall den westindischen an Stärke nicht nachstehn. Vor allen andern ist die Insel Mauritius oder Isle de France ihnen ausgesetzt[2], weit mehr als die Inseln Bourbon, Rodriguez und andere nahe unter dem Aequator liegende. Sie wehen daselbst zur Regenzeit, die vom December bis April dauert, und dann sind selbst die im Hafen zu Port Louis vor mehreren Ankern liegenden Schiffe nicht sicher. Man sieht den Sturm nicht allezeit voraus, doch kündigt er sich durch bedeutendes Anschwellen der See beim Hafen, durch Geschrei und unruhiges Verhalten der Seevögel, durch dichte, oft kupferfarbige, Wolken auf den Bergen, durch plötzlich wechselnde Windstillen und eine schwer zu beschreibende Unruhe am Horizonte an; vor allem giebt das Barometer sichere Zeichen, indem es schnell und stark sinkt. Der Sturm beginnt mit Stöfsen, die regellos mit gänzlicher Windstille wechseln, heftiger und häufiger werden, bis das Toben der See und Heulen des Windes den höchsten Grad erreicht, der in kurzen Pausen unterbrochene Sturm aber durch die ganze Windrose läuft und nach etwa zwanzig Stunden ein schrecklicher Regen das Ende macht. Schiffe können durch Anker und Taue nicht widerstehn, denn der Sturm zerreifst auch die stärksten und zerbricht die Masten wie Reiser. Auf der Insel

1 Dessen Reisen. Th. II. S. 587.

2 James Prior Beschreibung einer Reise in das indische Meer. Weim. 1819. S. 90.

selbst sind die Verheerungen gleich stark, als an den Küsten, indem Häuser und Pflanzungen gewaltsam weggerissen werden. Einst hielt sich ein Mann lange Zeit an einem Baumstamme, als er diesen aber verlassen hatte und weiter zu kommen hoffte, wurde er 200 Schritt weit fortgetrieben, und hatte Mühe, sich niederzuwerfen, um nicht in einem etwas entfernteren Flusse umzukommen. Auf einem 1200 Fuſs hohen Berge unweit der Stadt war ein Haus mit einem Signalposten, welches in einem solchen Sturme verschwand, ohne daſs von Menschen und Sachen eine Spur zurückblieb, weil es ohne Zweifel ins Meer geschleudert war. Die Verheerungen des Sturmes vermehren die des Regens, doch hat man jetzt alle mögliche Vorkehrungen getroffen, um diese Wirkungen zu mildern, und sowohl die Schiffe im Hafen, als auch die Bewohner der Insel mehr zu sichern.

Nach den genauen Erkundigungen, welche Freycinet[1] über die Stürme auf dieser Insel angestellt hat, ereignen sie sich fast alle Jahre, aber nur während der Dauer der gröſsten Hitze in den Monaten December bis März, toben aber nicht allezeit mit gleicher Gewalt. Die verheerendsten waren in den Jahren 1760, 1761, 1766, 1772, 1773, 1786, 1789, 1818, 1824, und unter diesen der vorletzte einer der stärksten und um so gröſseren Schaden anrichtend, je unerwarteter er einbrach. Das Barometer fiel von 7 Uhr Morgens am 28. März bis um 6 Uhr 5 Min. am Morgen des folgenden Tages von 759,06 bis 715,27 Millimeter, und die Dunkelheit der Nacht vermehrte die Schrecknisse der Katastrophe. Vierzig vor Anker liegende Schiffe wurden losgerissen und scheiterten an der Küste oder wurden stark beschädigt, und zum Glück traf der Wind während seiner gröſsten Heftigkeit den Hafen nicht, denn sonst wären alle dortige Schiffe mit ihrer ganzen Mannschaft untergegangen. Auf der Insel selbst kamen viele Menschen, sowohl freie als Sklaven um, und die Ernten wurden gänzlich zerstört. Von dem Schauspielhause zu Port-Louis, welches in Gestalt eines T gebaut war, wurde der hintere Theil, welcher das Ende oder den Fuſs des T bildete, 53 Fuſs breit und 82 Fuſs lang, beinahe 5 Fuſs weit von seinem Fundamente fortgeschoben. Auf der Batterie, welche nahe am groſsen Flusse

---

1 Voyage autour du Monde. Par. 1828. 4. T. I. p. 369.

liegt, wurden zwei Kanonen von schwerem Caliber, auf See-Lafeten montirt, ganz in die entgegengesetzte Richtung herumgedrehet, als sie gehabt hatten. Ein stark gebauetes massives Haus, nur ein Stockwerk hoch, welches allen Stürmen seit 1768 widerstanden hatte, wurde durch diesen Sturm eingestürzt und die Mitglieder der darin wohnenden Familie kamen um oder wurden schrecklich verstümmelt.

107) An diese Classe von Winden schliefsen sich die *Typhons*, die auf den Meeren von China und Japan und an den Küsten dieser Länder wüthen. Der Name findet sich bei den Griechen, welche eine von den Aegyptiern entlehnte Fabel von einem ungeheuren Riesen (*Τυφὼν*) hatten, und diese auf den verwüstenden Wirbelwind übertrugen. Nach dem, was Plinius[1] darüber sagt, verstand man hierunter anfangs die Wettersäulen; gegenwärtig bezeichnet man damit die in den genannten Meeren tobenden Orkane, bei denen die Drehung in einem Kreise, und zwar anscheinend in einem engeren, als auf den westindischen Inseln, wie auch das Eintreten gänzlicher Windstille und einer, hierauf folgenden, gerade entgegengesetzten Richtung vorzugsweise auffallend hervortritt. Einen Sturm dieser Art erlitt Krusenstern[2], am 1. Oct. 1804, wobei das Schiff Gefahr lief umzuschlagen, und nach der Umkehrung der Richtung eine Welle die Planken der Cajüte zerschlug. Langsdorff[3] bemerkt, dafs während der Dauer desselben von 1 Uhr Mittags bis zum andern Morgen das Barometer von 29,4 Zoll engl. bis mindestens 27,6 Z. herabsank, ohne dafs eine genauere Bestimmung möglich war, weil die Quecksilbersäule bis unter die Skale herabging. Aus dieser Ursache empfiehlt Krusenstern[4] den Seefahrern dringend den Gebrauch des Marinebarometers sowohl überhaupt, als auch insbesondere in den genannten Meeren, weil sie sowohl allgemein die Stürme, vorzugsweise aber die Typhons und deren Stärke genau und sicher vorher verkündigen[5].

1 Hist. Nat. L. XX. C. 48.

2 Dessen Reise. Th. I. S. 254. Vergl. Beiträge zur Hydrographie der gröfseren Oceane. Leipz. 1819. 4. S. 12. Starkes Fallen des Barometers ist dort ein sicheres Zeichen des bevorstehenden Sturmes.

3 Voigt's Magazin. Th. XI. S. 301.

4 Beiträge u. s. w. a. a. O.

5 Ausführliche Beschreibungen dieser Stürme findet man in Capper Observations on the Winds and Monsoons. Lond. 1801. p. 42, und in

Fernerweitige Beschreibnngen dieser Typhons, die im Ganzen nur das Nämliche enthalten können, dürften von geringerem Interesse seyn, als die Nachweisung ihrer eigenthümlichen Beschaffenheit, die REDFIELD[1] von ihnen durch Zusammenstellung der Nachrichten aus den Journalen der Schiffe, welche sich gleichzeitig an verschiedenen Orten in und neben denselben befanden, gegeben hat. Vorzugsweise genaue Angaben enthalten die Papiere des Schiffes Raleigh, welches im Anfange des Monats August 1835 von Macao absegelnd sich am 4. und 5. dieses Monats mitten in dem Orkane befand. Genügende
Fig. 204. Anschauung gewährt in kürzester Zeit die Zeichnung der kleinen Charte, wonach die Mitte des Sturmes in der Linie CBA, also etwa N. 72° W., fortschritt, dessen Drehung durch die Pfeile, so wie die muthmafsliche nördliche und südliche Grenze nebst dem Laufe der Schiffe Raleigh und Lady Hayes durch punctirte Linien angegeben sind. Hieraus ergiebt sich zugleich, dafs die geradlinige Fortschreitung dieser Orkane nicht so bedeutend ist, um die heftigen Wirkungen derselben hieraus zu erklären. Zum Beweise seiner bekannten Hypothese, dafs die Stürme der südlichen Halbkugel mit umgekehrten Verhältnissen den nämlichen Charakter, als die der nördlichen haben, giebt REDFIELD eine Beschreibung aus den Papieren des americanischen Schiffes Panama von dem Hurricane, welchen dieses auf seiner Fahrt von Canton nach New-York am 25. und 26. Jan. 1832 unter 20° 14′ S. B. und 80° 36′ östl. L. von Greenwich, bis 20° 14′ S. B. und 76° 47′ östl. L. erlitt.

108) Nach der Angabe PERON's[2] sind auch auf Neuholland die Stürme sehr heftig und haben gleichfalls das Eigenthümliche, dafs während ihrer Dauer der Wind aus allen Gegenden des Horizontes bläst. Die von ihm beschriebenen waren ganz eigentliche Gewitterstürme, von Platzregen und Hagelschauern begleitet; ihre genauere Beschreibung bietet daher kein specielles Interesse dar.

HORSBURGH India Directory. T. II. p. 233. Sie heifsen in China *Ty-Foongs*, grofse Winde, und es ist fraglich, ob dieser ursprüngliche Name nicht zu den Aegyptiern und von da zu den Griechen, oder zu letzteren direct gelangt ist, und zur Fabel vom Riesen Typhon Veranlassung gegeben hat.

1 Silliman Amer. Journ. T. XXXV. p. 210 ff.

2 Dessen Reisen. Th. I. S. 347.

109) Ueberblicken wir die hier mitgetheilten Angaben, so gelangen wir zu dem Resultate, dafs die Winde wohl überall eine gleich grofse Geschwindigkeit erlangen können. Dieses scheint mir namentlich aus einer Vergleichung der an der Küste Norwegens und der in den südrussischen Steppen tobenden zu folgen, wenn wir sie mit den westindischen Tornados und den ostindischen Typhons vergleichen; denn wenn auch die letzteren verheerender sind, so mufs man berücksichtigen, dafs namentlich die Berge und die Unebenheiten des Bodens die Geschwindigkeit der Luftbewegung bedeutend vermindern, weswegen diese auf ausgedehnten Continenten und im Innern gebirgiger Inseln weit geringer seyn mufs, als wo sich dergleichen Hindernisse nicht finden. Dagegen sind sie unter niedrigern Breiten wohl ohne Zweifel weit häufiger, als unter höheren, weil dort die Vereinigung der sehr erhitzten Luftmassen mit herzuströmenden kälteren leichter Veranlassung ihres Entstehens giebt, etwa mit Ausnahme der norwegischen Küsten, wo die Nähe des unverhältnifsmäfsig warmen Meeres auf ähnliche Weise wirkt. Einen wesentlichen Unterschied scheinen aber die Orkane der tropischen Zone, verglichen mit denen unter höheren Breiten, darzubieten, indem bei ersteren die Wirbel in weit engere Grenzen eingeschlossen sind. Namentlich ist dieses der Fall bei denen im Meere von Japan; bei allen aber geht dieses daraus hervor, dafs in der Regel die Richtung des Windes nach eingetretener gänzlicher Ruhe in die gerade entgegengesetzte übergeht, was eine Folge davon ist, dafs zuerst die eine Seite des Wirbels, dann das Centrum und hierauf die andere Seite über dem nämlichen Orte hinzieht. Diese Erscheinung kommt unter höheren Breiten gar nicht, oder mindestens sehr selten vor, theils weil die Wirbel einen weit gröfseren Durchmesser haben, theils weil ihr Centrum ungleich langsamer fortschreitet. Hieraus wird wahrscheinlich, dafs die meisten Stürme unter mittleren Breiten ihren Ursprung in der äquatorischen Zone haben, wobei aber nicht folgt, dafs sie dort jederzeit erst verheerend wirken, bevor sie unter höheren Breiten ankommen, vielmehr können sie sich erheben, in den oberen Regionen fortpflanzen und erst später wieder herabsinken. Den auffallendsten Beweis hierfür liefert das Verhalten des Föhns, namentlich am 18. Juli 1841, ferner das Vorausgehn der ungewöhnlichen Wärme und Schwüle vor heftigen Stürmen unter

höheren Breiten und das bereits erwähnte Brausen, welches man vorzüglich im Frühlinge in den höheren Luftregionen dann zu hören pflegt, wenn Thauwetter mit heftigen Winden eintreten will.

110) Versuchen wir die hier erzählten unglaublichen Wirkungen der Orkane zu erklären, so wird sich alsobald die Frage aufdringen, welche Geschwindigkeit eine so dünne Flüssigkeit, als die Luft ist, haben müsse, um eine solche ganz unbegreifliche mechanische Gewalt auszuüben. Die Aufgabe, das *Verhältniſs zwischen der Geschwindigkeit des Windes und der hierdurch erzeugten Kraft* aufzufinden, hat nicht bloſs wissenschaftliches, sondern in Beziehung namentlich auf die Leistungen der Windmühlen zugleich ein technisches Interesse, und ist daher von vielen Geometern behandelt worden, deren wesentliche Ansichten wir hier kurz zusammenstellen wollen.

Zuerst stellte Newton[1] den nachher im Allgemeinen beibehaltenen Satz auf, daſs die Kraft der bewegten Luft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sey. Dieses folgerte derselbe aus der Theorie und fand es bestätigt durch die Erfahrung bei den Versuchen, die er absichtlich für diesen Zweck anstellte[2]. Man glaubte hierbei annehmen zu dürfen, daſs es einerlei sey, ob die Luft sich gegen einen festen Körper, oder letzterer sich gegen erstere bewegt, und das Problem kommt also auf den *Stoſs der Körper* zurück, dessen Stärke bei elastischen dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist. Diesem Theorem liegt die Betrachtung zum Grunde, daſs bei n facher Geschwindigkeit n mal mehr Theile, jedes mit n facher Geschwindigkeit gegen eine gegebene Fläche stöſst, und daher die Kraft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional seyn muſs[3]. Werden bloſs diejenigen Untersuchungen berücksichtigt, die sich auf den Windstoſs allein beziehen, mit Ausschluſs derer, die vom Widerstande elastischer Medien überhaupt handeln, so gehört Bouguer[4] zu den ersten, welche die Stärke des Windstoſses nach der genannten Hypothese bestimmten; auch verfertigte er eine Tabelle, worin die Geschwindigkeiten des Windes mit der dazu gehörigen Kraft in Pfunden zu-

1 Philos. nat. Princ. math. Lib. II.

2 Vergl. Art. *Widerstand.*

3 Vergl. A. L. Crelle Theorie d. Windstoſses. Berl. 1802. 4. S. 5.

4 Manoeuvre des Vaissaux. In Mém. de l'Acad. de Par. 1757.

sammengestellt sind. Diesem folgte MUSSCHENBROEK[1], legte aber keineswegs hinlänglich sichere Thatsachen zum Grunde. Er sagt: aus einem gleich grofsen Gefäfse fliefst durch die nämliche Oeffnung die Luft 24mal schneller ab, als Wasser. Dieses folgt daraus, weil das spec. Gewicht der Luft sich zu dem des Wassers wie 1 zu 606 verhält. Ist daher die Geschwindigkeit des Wassers = 1 und die der Luft = x, so mufs sich die bewegende Kraft beider wie das Quadrat der Geschwindigkeit in die Masse verhalten, welches das Verhältnifs $1^2 \times 606$ zu $x^2 \times 1$ giebt, und also $x = \sqrt{606} = 24{,}61\ldots$, welche Gröfse nach der Dichtigkeit der Luft verschieden ist. Eben dieses folgt aus dem oben angeführten Satze, dafs der Stofs von 1 Luft in 1 Zeit $= 1^2$, wenn aber 2 Luft mit 2 Geschwindigkeit stofsen, $= 2^2 = 4$ ist. Wenn also die Luft 24 Fufs in 1 Sec. zurücklegt, so ist ihre Kraft derjenigen gleich, welche das Wasser durch die Geschwindigkeit von 1 Fufs in der nämlichen Zeit erlangt. Es ist dann ferner die Kraft des Wassers bei 1 Fufs Geschwindigkeit in 1 Sec. dem Stofse eines Wasserprisma von der Basis der gestofsenen Fläche und der Höhe gleich, von welcher ein Körper herabfallen mufs, um 1 Fufs Geschwindigkeit in 1 Sec. zu erlangen. Ein Körper fällt in 1 Sec. 15 Fufs und erlangt dadurch eine mittlere Geschwindigkeit, womit er 30 Fufs in derselben Zeit durchlaufen würde[2], die Fallgeschwindigkeiten verhalten sich aber wie die Quadratwurzeln der Höhen, und wir erhalten also die Proportion $30 : \sqrt{15} = 1 : \sqrt{x}$, woraus $900 \times 15 = 1 \times x$ und $x = \frac{1}{60}$. Das Gewicht eines Kubikfufs Wassers beträgt 63 Pfund, und seine Kraft wird also bei 1 Fufs Fallgeschwindigkeit in 1 Secunde $= \frac{63}{60} = 1\frac{1}{20}$ Pfund betragen, mithin ebenso viel die Gewalt des Windes gegen einen Quadratfufs Fläche, wenn er sich mit 24 Fufs Geschwindigkeit bewegt. Wäre also die Geschwindigkeit des Windes = 30 Fufs, so würde seine Kraft noch nicht 2 Pfund, bei 66 Fufs nahe 7,6, bei 123 Fufs dagegen nahe 27,6 Pfund betragen.

MUSSCHENBROEK's weitere Berechnungen, worin er diese Gröfsen benutzt, um den Druck zu finden, welchen der Wind gegen Bäume und Thürme ausübt, indem er die Kraft gegen

1 Introd. in Philos. nat. T. II. §. 2620.

2 Vergl. Art. *Fall.* Bd. IV. S. 4.

1 Quadratfuſs Fläche allgemein zu 27 Pfund annimmt, haben kein weiteres Interesse, und es verdient nur noch bemerkt zu werden, daſs nach seiner Angabe Bouguer's Tafeln die Kraft des Windes für alle Geschwindigkeiten etwas geringer geben, als sie nach diesen Sätzen des La Hire seyn müſste.

111) In Deutschland galt lange Zeit die Theorie, welche übereinstimmend mit den eben angegebenen Sätzen durch Karsten[1] aufgestellt wurde, wonach die Gewalt des Windes dem Stoſse eines Flüssigkeitsprisma von der gegebenen Basis, der Dichte der Luft und dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist. In Beziehung auf die Geschwindigkeit nahm man an, daſs diese durch die Fallhöhe gegeben werde, so wie man den Stoſs des Wassers aus der Höhe der bewegten Wassersäule bestimmt. Hierauf beruhet die einfache Darstellung dieses Problems durch Gehler[2], wonach für eine Fläche $= a$, eine Höhe $= h$ und die Dichtigkeit der Luft gegen Wasser $= n$ der Stoſs $k = ahn$ angenommen wird. Es soll die Kraft des Stoſses einer Flüssigkeit ihrem Widerstande gleich seyn, doch dürfe nicht unbemerkt bleiben, daſs man zwar im Ganzen (den Widerstand $R = k$ gesetzt) $R = ahn$ annehme, daſs nach andern aber $R = 2nah$ oder im Allgemeinen $= 2\lambda nah$ angenommen werde, wobei der Werth von λ aus Versuchen zu bestimmen sey. Letzteres bezieht sich auf den bekannten Streit, ob die Kraft einer herabfallenden Wassersäule dem Gewichte ihrer einfachen oder doppelten Höhe proportional zu setzen sey. Zur Bestimmung des Werthes von h diente der Druck der atmosphärischen Luft oder das Gewicht einer Luftsäule von überall gleicher Dichtigkeit, die als Aequivalent der ganzen Atmosphäre dienen könnte. Unterdeſs wurden Woltmann's[3] Versuche bekannt, die einen durch die Erfahrung gegebenen sicheren Anhaltpunct für die erforderliche Gröſsenbestimmung darzubieten schienen. Langsdorff[4] theilt folgende Resultate als die genauesten mit, wenn v die Geschwindigkeit, K den beobachteten Stoſs gegen 1 Quadratfuſs Fläche, k den auf 1 Fuſs

---

1 Lehrbegriff d. gesammten Math. Th. VI, Greifsw. 1771. Absch. IX.

2 A. A. Bd. IV. S. 763.

3 Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels u. s. w. Hamb. 1790. 4. S. 50.

4 Lehrbuch der Hydraulik mit beständiger Rücksicht auf die Erfahrung. Altenb. 1794. 4.

Geschwindigkeit reducirten Stofs in Lothen und Hamburger Fufs bezeichnen.

v	K	k	v	K	k
10	4,00	0,0400	28	27,23	0,0347
12	5,33	0,0370	29	29,25	0,0348
20	16,11	0,0403	30	31,41	0,0349
21	16,73	0,0379	31	32,37	0,0337
24	20,72	0,0360	33	37,38	0,0343
25	21,39	0,0342	35	42,30	0,0343
26	23,15	0,0342			

Hiernach beträgt der Stofs des Windes von 1 Fufs Geschwindigkeit in 1 Secunde gegen 1 Quadratfufs Oberfläche im Mittel 0,035 Loth. Wird diese durch directe Erfahrung gefundene Gröfse mit der mehr theoretisch zu bestimmenden verglichen, so ist die durch die Fallhöhe zu erreichende Kraft der Luft $= \frac{v^2}{2g}$. Woltmann wandte Hamburger Mafs an, und hiernach ist $g = 34{,}22$ Fufs, mithin erhält man für eine Fläche $a = 1$ Quadratfufs und das Gewicht eines Kubikfufs Luft $= p$ den Ausdruck $\frac{v^2}{68{,}44} a\,p$. Beträgt das Gewicht eines Kubikfufs Wassers 48,5 Pfund, und ist das Verhältnifs des Gewichts des Wassers gegen Luft $= n$, so erhält man

$$k = \frac{v^2}{68{,}44} a\,n\; 48{,}5 \text{ Pfund}$$
$$= v^2 a\,n\; 22{,}7 \text{ Loth.}$$

Die Dichtigkeit der Luft verändert sich mit dem Barometerstande, allein das Verhältnifs wird für die vorliegende Aufgabe nie bedeutend von $\frac{1}{900}$ abweichen, wonach also für $v = 1$ und $a = 1$ angenommen,

$$k = \frac{22{,}7}{900} = 0{,}0252\ldots \text{Loth} = 0{,}0007882 \text{ Pfund}$$

betragen würde, statt dafs Woltmann 0,035 Loth = nahe 0,0011 Pfund fand. Langsdorff bemerkt übrigens mit Recht, dafs die Kraft des Windstofses der des Widerstandes bei gleicher Geschwindigkeit und für gleiche Flächen nicht durchaus gleich seyn kann, denn im ersten Falle ist die ganze Flüssigkeitsmasse bewegt, im letzteren aber ist sie ruhend.

112) Den eben angedeuteten Gang der Untersuchung behielt man seitdem bei, indem man den Stoſs der Luft theils theoretisch bestimmte, wobei vorzüglich nur das Dichtigkeitsverhältniſs der Luft gegen Wasser einen Unterschied macht, theils die Gewalt des senkrechten Stoſses durch die Erfahrung zu ermitteln suchte und beide Werthe mit einander verglich. Bei weitem die meisten dieser Bemühungen, wo nicht alle, beziehen sich indeſs auf die Auffindung der Kraft, womit der Wind eine schief gegen ihn gerichtete Fläche zum Ausweichen bringt, weil hierauf die Construction der Windmühlenflügel beruhet, welche Aufgabe jedoch dem Art. *Windmühle* vorbehalten bleibt, indem wir uns hier bloſs an den geraden Stoſs des Windes halten. Um einige der verschiedenen Darstellungen mitzutheilen, mögen folgende hier erwähnt werden. Ist nach Crelle[1] die Geschwindigkeit der bewegten Luft $= v$ und die gestoſsene Fläche ein rheinl. Quadratfuſs, so werden in m Secunden mv Kubikfuſs Luft zum Stoſse gelangen. Beträgt das Gewicht eines Kubikfuſs Luft $= p$, so ist das Gewicht der stoſsenden Masse $= mvp$. Die Schwere erzeugt in jener Masse in m Secunden eine Kraft $= mg$, wenn $g = 31{,}25$ Fuſs bezeichnet, und die beschleunigende Kraft des Stoſses verhält sich also zur Schwere, wie $v : gm$, oder ist $\frac{v}{gm}$, und demnach ist die bewegende Kraft des Stoſses $= \frac{v}{gm} \cdot mvp = \frac{v^2}{g} p$. Heiſst die der Geschwindigkeit v zugehörige Fallhöhe b, so ist $b = \frac{v^2}{2g}$, und daher die Kraft des Stoſses $k = 2bp$, und wenn für rheinländisches Maſs das Gewicht eines Kubikfuſs Luft $p = 0{,}08242$ Pfund gesetzt wird, so erhält man den Stoſs gegen 1 Quadratfuſs Fläche

$$k = a \frac{v^2}{62{,}5} \cdot 0{,}08242 \text{ Pfund, also für } v = 1 \text{ und } a = 1$$

$$k = 0{,}0013187 \text{ Pfund.}$$

Da aber nach Woltmann's Versuchen $k = \frac{4}{3} a \frac{v^2}{2g} p$ genommen werden muſs, so soll man allgemein

$$k = 0{,}0017583\, a v^2 \text{ Pfund}$$

1 Theorie des Windstoſses. Berl. 1802. 4. S. 5.

annehmen. Soll die *theoretische Kraft des Windstofses* nach den in diesem Werke angenommenen Gröfsen bestimmt werden, so ist die einer Secunde mittlerer Sonnenzeit zugehörige Fallhöhe[1] = 30,36 par. Fufs, das spec. Gewicht der trocknen Luft[2] gegen Wasser aber, oder n = 0,001299, wofür in runder Zahl 0,0013 genommen werden kann. Hiernach verwandelt sich die obige Formel

$$k = a\frac{v^2}{2g}.n.p \text{ in } k = \frac{1}{60{,}36}.70.0{,}0013 \quad \ldots. \quad \text{(I)}$$

wenn die Fläche a = 1 = einem pariser Quadratfufs, v = 1 und das Gewicht eines Kubikfufs Wasser = 70 Pfund genommen wird. Unter diesen Bedingungen ist dann k = 0,0015076 Pfund.

113) Nach J. C. E. SCHMIDT[3] läfst sich der senkrechte Stofs des Windes aus der oben (§. 18) entwickelten Formel finden, wonach für die Barometerhöhen p' und p^o die Geschwindigkeit des Windes

$$u = 1215\sqrt{\frac{p'-p^o}{p'}}$$

ist. Hieraus folgt

$$p'-p^o = \left(\frac{u}{1215}\right)^2.p',$$

wonach ein Wind, welcher sich mit der Geschwindigkeit u bewegt, wenn die Luft das Barometer auf einer Höhe $= p'$ erhält, einen Druck hervorbringt, welcher einer Quecksilbersäule von $p'-p^o$ das Gleichgewicht zu halten vermag. Nimmt man also das Gewicht eines Kubikfufs Quecksilber in par. Mafs = 950 Pfund an, und die Barometerhöhe im Mittel zu 28 par. Zoll, so wird der Druck p' in Pfunden = 2217 Pfund, und man erhält den Druck k auf einen par. Quadratfufs Oberfläche

$$k = 2217\left(\frac{u}{1215}\right)^2 \quad \ldots. \quad \text{(II)}$$

Pfund. Für 60 Fufs Geschwindigkeit giebt dieses 5,5 Pfund, die obige Formel, hiermit vollkommen übereinstimmend, 5,42736 Pfd.

---

1 S. Art. *Schwere*. Bd. VIII. S. 1613, wo aber g = 15,18 Fufs nach der älteren Bezeichnung genommen ist, statt dafs man jetzt g = 30,36 Fufs annimmt. Das dortige g ist also nur $\frac{1}{2}$g.

2 S. Art. *Gewicht*, spec. Bd. IV. S. 1515.

3 Lehrbuch der physischen und math. Geographie. Gött. 1830. Bd. II.

Da die Kraft des Stofses den Quadraten der Geschwindigkeit proportional ist, so würde eine Geschwindigkeit von 120 Fufs 22 Pfund und eine von 180 Fufs 49,5 Pfund geben. Diese Gröfse ist allerdings bedeutend; denn denken wir uns, dafs die Fronte eines zweistöckigen Hauses von etwa 50 Fufs Breite und 25 Fufs Höhe durch einen Sturm von 180 Fufs Geschwindigkeit getroffen werde, so würde der dagegen ausgeübte Druck zu 50 Pfund auf 1 Quadratfufs gerechnet eine Gewalt von 62500 Pfund ausüben; noch leichter übersieht man aber, dafs die vom Sturme in gerader Richtung getroffenen Fenster schwerlich einen Druck von 22 Pfund auf jeden Quadratfufs, namentlich der Glasscheiben, auszuhalten vermögen, und dafs daher die Orkane im Innern des Festlandes selten eine Geschwindigkeit von 120 Fufs erreichen, weil das Eindrücken der Fenster daselbst zu den ungewöhnlichen Erscheinungen gehört; solche Orkane aber, welche Kanonen fortzutreiben vermögen, müfsten nothwendig für den Augenblick ihrer heftigsten Stöfse mindestens 180 Fufs Geschwindigkeit haben, wenn die theoretische Bestimmung ihrer Kraft völlig genau wäre. Inzwischen ist einestheils dieses nicht der Fall, anderntheils aber darf nicht übersehn werden, dafs bei der Berechnung ein gerader Stofs angenommen worden ist, statt dafs in der Wirklichkeit eine wirbelnd drehende Bewegung statt findet, welche namentlich die Bäume abzubrechen oder mit der Wurzel auszudrehn vorzüglich geeignet ist und zugleich die Dachziegel nebst sonstigen Gegenständen in die Höhe zu führen strebt.

114) Die wirkliche Kraft des Windes müfste übrigens eigentlich geringer seyn, als die theoretisch gefundene, denn die Dichtigkeit der Luft beträgt während der Stürme wohl niemals 0,0013 des Wassers, weil diese Bestimmung für 0° Temperatur, den normalen Barometerstand im Niveau des Meeres und vollkommen trockne Luft gilt, und wir können daher füglich nach Langsdorff[1] 0,0012375 für 336 Lin. Barometerhöhe und 12°,5 C. Temperatur annehmen, wovon dann für jede Linie des Barometerstandes unter 336 Linien $\frac{1}{336} \cdot 0{,}0012375$ abzuziehn wäre, so dafs für n Linien unter 336 die Dichtigkeit der

1 Ausführliches System der Maschinenkunde u. s. w. Heidelb. 1827. 4. Bd. II. S. 123.

Luft $= 0{,}0012375 \left(1 - \frac{n}{336}\right)$ seyn würde. Es belohnt sich indefs der Mühe nicht, auf den jederzeitigen Barometerstand und die Temperatur bei der Berechnung des Windstofses Rücksicht zu nehmen, denn er ist ohnehin in der Wirklichkeit bedeutend gröfser, als ihn die Berechnung giebt. Die Ursache hiervon liegt in dem Umstande, dafs die Luft, welche eine gewisse Zeit bedarf, um von der gestofsenen Fläche abzufliefsen, vor denselben aufgestauet und verdichtet wird. Da diese Bedingung mit der Geschwindigkeit des Windes zunimmt, so kann die dem Quadrate der Geschwindigkeit proportionale Zunahme der Kraft nicht in aller Strenge richtig seyn und pafst nur für geringere Geschwindigkeiten. Aus demselben Grunde ist aber aufserdem die Stärke des Stofses der Gröfse der gestofsenen Flächen nicht proportional, sondern wächst mit denselben in einem noch nicht genau aufgefundenen Verhältnisse. Schon de Borda überzeugte sich bei seinen Versuchen, dafs die Kraft des Windes in einem gröfseren Verhältnisse wachse, als im geraden der ihm ausgesetzten Flächen, uud zu eben diesem Resultate gelangten auch andere, namentlich James Hutton[1]. Letzterer fand durch genaue Versuche mit zwei Flächen, deren eine 17,75, die andere 32 Quadratzoll mafs, deren Verhältnifs also nahe 5 zu 9 betrug, bei einer Geschwindigkeit des Windes von 20 Fufs in 1 Sec. die Kraft des Stofses = 1,196 und 2,542 Unzen, welches das Verhältnifs 8 zu 17, also ein um etwa $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{5}$ gröfseres giebt, als das der Flächen. Man kam daher bald zu der Ueberzeugung, dafs die Kraft des Windstofses durch Versuche gefunden werden müsse.

115) Abstrahiren wir von den zahlreichen Versuchen, welche zum Zwecke hatten, die Gröfse des Widerstandes aufzufinden, und wobei man von der falschen Voraussetzung ausging, dafs der Stofs der Luft dem Widerstande derselben für gleiche Geschwindigkeiten gleich sey, so verdienen hauptsächlich folgende berücksichtigt zu werden, die Christian[2], jedoch ohne Angabe der Quellen, zusammengestellt und zur bequemen Uebersicht auf französisches Mafs reducirt hat, von

1 Philosophical and mathematical Dictionary. T. II. p. 612.

2 Traité de Mécanique industrielle cet. Par. 1823. T. II. p. 20.

dem sie dann durch LANGSDORFF[1] aufgenommen und vermehrt wiedergegeben worden sind. MARIOTTE[2] maſs die Geschwindigkeit des Windes durch die von zwei in gemessenem Abstande von einander stehenden Beobachtern bestimmte Zeit, welche Flaumfedern bedurften, um diesen Raum zu durchlaufen, und den Druck, welchen der Wind dann gegen einen ihm perpendiculär entgegengehaltenen Schirm ausübte. Nach LANGSDORFF's Reduction fand er den Stoſs des Windes von 12 Fuſs Geschwindigkeit gegen 0,9948 Par. Quadratfuſs Fläche = 0,3823 ℔., und da der Kubikfuſs Luft zu 0,09 ℔. Cöln. anzunehmen ist, so wäre hiernach die Stärke des Stoſses $= \frac{0,3823}{0,09}$ Kubikfuſs. Hierzu gehört für eine Fläche von 0,9948 Quadratfuſs der Druck einer Luftsäule von $\frac{4,25}{0,9948} = 4,27$ Fuſs Höhe. Nach der Formel ist aber diese Höhe $= \frac{v^2}{2g} = \frac{144}{60,4}$ $= 2,38$ Fuſs, und diesemnach gehört für diesen Stoſs die $\frac{4,27}{2,38} = 1,8$fache Geschwindigkeitshöhe. DE BORDA[3] suchte die Kraft des Windes dadurch zu bestimmen, daſs er Flächen gegen die ruhige Luft mit ungleichen Geschwindigkeiten bewegte. Hiernach fand er die Kraft des Stoſses der Gröſse der Flächen nicht genau proportional, er giebt aber im Mittel an, daſs für eine Fläche von 9 Zoll Quadrat bei einer Geschwindigkeit von 10,66 in 1 Sec. der Stoſs 0,1547 ℔. beträgt. Wird dann das Gewicht eines Par. Kubikfuſs Wasser = 70 ℔. und das spec. Gewicht der Luft $= \frac{1}{800}$ angenommen, so giebt die Formel $k = 0,0932$, und somit verhält sich die theoretisch gefundene Kraft zu der aus diesen Versuchen erhaltenen, wie 1 : 1,66. Nach der oben (§. 95) mitgetheilten Tabelle giebt ROUSE[4] die der Geschwindigkeiten des Windes von 1,47 bis 146,7 Fuſs in 1 Sec. zugehörigen Kräfte an, wobei jedoch

1 Ausführliches System der Maschinenkunde. Heidelb. 1827. 4. Th. II. S. 123.

2 Oeuvres. Leide 1717. 4. T. II. p. 406.

3 Mémoires de Paris. 1763. p. 365.

4 Nach SMEATON in Philos. Trans. 1759. p. 165. Vergl. HUTTON Dict. T. II. p. 612. TH. YOUNG Lect. T. II. p. 457.

Langsdorff mit Recht bemerkt, dafs es fraglich sey, ob alle diese Werthe unmittelbar durch Versuche gefunden worden sind. Aus der durch Langsdorff vorgenommenen genauen Berechnung und Reduction ergiebt sich aber, dafs die gefundenen Gröfsen innerhalb einer sehr engen Fehlergrenze den Quadraten der Geschwindigkeit proportional sind. Wird dann aus allen Bestimmungen eine mittlere gesucht, so findet sich das Verhältnifs der theoretisch bestimmten Kraft zu der durch Erfahrung gefundenen = 1 : 1,9, also noch gröfser, als nach Mariotte[1]. Nach den Versuchen, welche Hutton[2] in den Jahren 1786, 1787, 1788 in der Militäracademie mit grofser Genauigkeit anstellte, fand er das Gesetz vom Quadrate der Geschwindigkeit bestätigt, und erhielt im Mittel einen Druck von 12 Unzen oder 0,75 ℔. gegen einen englischen Quadratfufs Oberfläche. Wenn man berücksichtigt, dafs für das Quadrat der Geschwindigkeit des Windes und den Quadratinhalt der gestofsenen Fläche, beides nach englischem Mafs, die Reduction entbehrt werden kann, so giebt die Rechnung die gesuchte Kraft nach der Formel = 0,60304 Pfund, und das Verhältnifs nach diesen Versuchen also = 1 : 1,243. Die oben bereits erwähnten Versuche Woltmann's hält Langsdorff für die genauesten unter allen übrigen, weil jener sich zur Messung der Geschwindigkeiten des Windes, dessen Druckkraft gegen eine gegebene Fläche er bestimmte, seines hydrometrischen Flügels bediente. Langsdorff reducirte daher auch diese auf rheinländisches Mafs, und findet dann, dafs die berechnete Kraft des Windstofses sich zu der durch Versuche gefundenen wie 16 : 19 oder wie 1 : 1,19 verhält. Stellen wir die hier gefundenen Resultate zusammen, so verhält sich der durch Rechnung gefundene Stofs des Windes zu dem durch Versuche gegebenen, oder der theoretische zu dem empirischen

nach	Mariotte	= 1 : 1,73
—	De Borda	= 1 : 1,66
—	Rouse	= 1 : 1,90
—	Hutton	= 1 : 1,243
—	Woltmann	= 1 : 1,19.

1 Die Berechnung, die man in genügender Ausführlichkeit in Langsdorff's Werke a. a. O. findet, ist hier weggelassen worden.

2 Philosophical and mathematical Dictionary. T. I. p. 117.

Die Abweichung ist sehr bedeutend, und das Urtheil über das Gewicht der einzelnen Angaben ausnehmend unsicher, weil die Versuche[1], mit Ausnahme der von de Borda, Hutton und Woltmann, entweder gar nicht, oder nur im Allgemeinen angegeben, keineswegs aber speciell und mit Angabe der erforderlichen Correctionen beschrieben worden sind. Die von Mariotte und Rouse dürften daher wohl ganz auszuschliefsen seyn; wollte man aber das Mittel aus denen von Woltmann und Hutton nehmen, so gäbe dieses 1 : 1,216, und wenn man die von de Borda hinzunimmt, 1 : 1,364. Da übrigens sowohl Hutton als auch De Borda als sehr genaue Experimentatoren bekannt sind, so dürfte es nicht unangemessen seyn, ihren Versuchen die Hälfte des Gewichts, als denen von Woltmann, beizulegen, wodurch man im Mittel aus diesen drei Versuchsreihen das Verhältnifs 1 : 1,32 erhält, was mit dem oben von Crelle aus den Woltmann'schen Versuchen allein abgeleiteten, nämlich 1 : 1,34 sehr nahe übereinstimmt. Betrachtet man diese Gröfse als der Erfahrung hinlänglich angemessen, so wäre allgemein die Kraft des Windes k in Pfunden nach der Formel (1) für eine Fläche = a in Pariser Quadratfufs und eine Geschwindigkeit = v in Par. Fufs

$$k = 0{,}001990032\, a v^2,$$

wofür wegen der nicht mit berücksichtigten Zunahme der Kraft mit der Zunahme der Fläche füglich in runder Zahl

$$k = 0{,}002\, a v^2 \quad \ldots \quad \text{(III)}$$

gesetzt werden kann. Will man dagegen aus der bekannten Kraft die Geschwindigkeit messen, so wäre diese

$$v = 22{,}38 \sqrt{\frac{k}{a}} \quad \ldots \quad \text{(IV).}$$

wobei kaum nöthig ist zu bemerken, dafs diese Formeln nur

---

1 Ueber d. Versuche ist näher im Art. *Widerstand* gehandelt worden. Nach Robison soll der Druck des Windes gegen einen engl. Quadratfufs Fläche, wenn v die Geschwindigkeit in 1 Sec. nach engl. Fufsmafs bezeichnet $= 16 v^2$ Grains oder in Pfunden $\frac{v^2}{500}$ seyn; näher bestimmt $0{,}00229 v^2$, wenn v bis 10 Fufs, und $0{,}002287 v^2$, wenn v bis 100 steigt. S. Young's Lectures. T. II. p. 229. Diese Bestimmung beruht indefs nicht auf eigenen Versuchen.

als annähernd gelten können, indem sie keineswegs mit genügender Schärfe begründet sind[1].

E. Geographische Verbreitung der Winde.

116) Es war bisher wiederholt die Rede von Winden, die gewissen Gegenden vorzugsweise zugehören, und aus den im vorletzten Abschnitte mitgetheilten mittleren Windrichtungen läfst sich dieses sowohl für die genannten Orte, als auch für diejenigen Gegenden, in denen diese gelegen sind, entnehmen; inzwischen ist es sicher nicht ohne Interesse, die den verschiedenen Hauptstrecken der gesammten Erdoberfläche eigenthümlichen Winde in einer allgemeinen Zusammenstellung zu überblicken. Es scheint mir daher, als dürfe auch dieser Theil der gesammten Untersuchungen hier nicht fehlen, und zwar um so weniger, da Kämtz[2] das hierüber vorhandene Material in grofser Vollständigkeit geordnet und zusammengestellt hat. Eine ausführliche Behandlung dieser Aufgabe hat neuerdings auch E. Mitchell[3] gegeben, allein seine Sätze sind zu allgemein, und obgleich er viele Thatsachen zum Beweise derselben anführt, so vermifst man dabei eine genauere kritische Prüfung derselben, weswegen dann auch seine Folgerungen nicht überall zulässig sind. Folgende allgemeine Sätze sollen als Grundlage des Ganzen dienen.

a) Auf den grofsen Oceanen bis 30° zu beiden Seiten vom Aequator herrschen beständige Winde, die nur in wenigen Puncten von der östlichen Richtung abweichen. Diese Behauptung, obgleich beschränkt durch den Zusatz, dafs die Kü-

---

1 Eine Anwendung dieser Bestimmungen auf wirkliche Fälle zur Erklärung beobachteter Wirkungen der Stürme übergehe ich, da die hierbei nöthigen Gröfsenbestimmungen in der Regel zu wenig genau sind, und der Einflufs der rotirenden Bewegung nicht wohl zu ermitteln ist. Im Ganzen übersieht man leicht, dafs sich die Gewalt der Stürme hiernach füglich erklären läfst. Aufserdem gilt diese Formel nur für den geraden Stofs gegen ebene Flächen, gegen krumme oder keilförmige ist er weit geringer. Vergl. Art. *Widerstand.*

2 Lehrbuch der Meteorologie. III Th. 8. Th. I. 1831. S. 177 bis 203. Die hieraus entnommenen Quellen bezeichne ich durch K.

3 Silliman's Amer. Journ. T. XIX. Daraus in Edinburgh New Philos. Journ. Nr. XXI. p. 167. Nr. XXII. p. 288 und Nr. XXIII. p. 30.

sten einen Einfluſs ausüben, ist offenbar zu allgemein, und auf wenige Angaben von Halley, Colebrooke und Andern gegründet.

b) Zwischen 30° und 60° vom Aequator auf beiden Halbkugeln sind westliche Winde vor den östlichen vorherrschend im Verhältniſs von etwas mehr als 3 zu 2. Dieser im Ganzen richtige Satz ist für das westliche Europa leicht erweislich, auch bleibt nicht unbemerkt, daſs zu Kopenhagen die Richtung des Windes mehr südlich seyn soll. Für die südliche Halbkugel ergeben die Nachrichten der Schiffer von den heftigen Südweststürmen bei Cap Horn diese dort herrschende Windrichtung, wie nicht minder eine Angabe von W. Clayton[1] über die Falklandsinseln, und von Colebrooke[2] über die Südspitze Africa's. Sofern also Mitchell zunächst nur das Vorherrschen der westlichen Windrichtung von der östlichen behauptet, ohne zugleich die Neigung mehr nach Süden oder nach Norden zu berücksichtigen, kann der Satz im Ganzen bestehn.

c) Unter allen Breiten, wenige durch örtliche Einflüsse herbeigeführte Ausnahmen abgerechnet, besteht ein Uebergewicht der Luftströmungen von den Polen zum Aequator über die in entgegengesetzter Richtung, aber diese vorherrschende Tendenz tritt bei weitem weniger und minder deutlich bezeichnet hervor, als das Uebergewicht der westlichen Winde zwischen dem 30sten und 60sten Breitengrade. Genauer aufgefaſst soll dieses nur so viel heiſsen, daſs im Ganzen eine Luftbewegung von den Polen zum Aequator hin statt findet, auch zeigt sich dieses in der etwas nördlichen Richtung des Nordostpassates auf der nördlichen Halbkugel und in der unter höheren Breiten an vielen Orten sich zeigenden nördlichen Richtung der herrschenden Westwinde, allein von dieser Seite hat Mitchell das Problem nicht aufgefaſst, vielmehr sucht er durch einzelne Angaben das Vorherrschen der nördlichen Winde vor den südlichen zu beweisen. Diesemnach bezieht er sich auf Daniell's Behauptung, daſs in Groſsbritannien nach einem Mittel aus zehn Jahren sich die nördlichen Winde zu den südlichen wie 192 zu 173 verhalten, und in Central-Europa die

1 Philos. Trans. 1776.
2 Brande's Journ. Th. XIV. S. 250.

nördlichen Winde allgemein, hauptsächlich aber im Sommer, weit regelmäſsiger, als die südlichen seyn sollen. Viele Angaben in Cotte's Tafeln werden zum Beweise dieses Satzes angeführt, namentlich daſs zu Petersburg nach 16jährigen Beobachtungen die nördlichen Winde zu den südlichen sich wie 133 zu 119 verhalten. Zwischen der Nordgrenze des NO.-Passates und den nordamericanischen Staaten sind die Südwinde nach L. v. Buch[1] vorherrschend, für die letzteren Staaten selbst aber geben die Zusammenstellungen der Beobachtungsregister bald den nördlichen, bald den südlichen Windrichtungen das Uebergewicht, namentlich findet Lovell das Verhältniſs der südlichen zu den westlichen wie 1259 zu 1160. Wie oben (§. 69) gezeigt wurde, ist die herrschende mittlere Windrichtung daselbst eine südwestliche, fast westliche, die aber durch den Wechsel der vom Meere aus den erhitzten Länderflächen zuströmenden südlichen, und zu andern Zeiten vom Kältepole herabflieſsenden nördlichen Luftmassen vielfach gestört wird, so daſs also je nach der Wahl der Orte die daselbst angestellten Beobachtungen im Mittel bald das eine, bald das andere der beiden genannten Resultate geben können. Das allgemeine Drehungsgesetz der Winde, welches die eigentliche Grundlage bei Mitchell's Bestimmungen bildet, und bei den Untersuchungen über die geographische Verbreitung der Winde vor allen Dingen berücksichtigt werden muſs, giebt auch hierüber die nöthigen Erläuterungen. Im mexicanischen Meerbusen herrschen nach v. Humboldt[2] Nordwinde (*los nortes*), eigentlich Nordwestwinde von den Herbst- bis zu den Frühlingsnachtgleichen, aus dem stillen Ocean sind zu wenig Beobachtungen bekannt, an der Nordwestküste America's aber, von der Behringsstraſse bis zum 30sten Breitengrade sind die Winde zwar im Ganzen veränderlich, die Seefahrer stimmen indeſs darin überein, daſs die Zahl der nordwestlichen am gröſsten ist, an der Mündung des Columbia dagegen trifft man nach Lewis und Clarke lange anhaltende Südweststürme mit vielem Regen. Auf der südlichen Halbkugel verweilen die Seefahrer unter höheren Breiten nur im dortigen Sommer, und es ist daher schwer, die herrschenden Windrichtungen genau zu ermitteln.

1 Beschreibung der canarischen Inseln.
2 Neuspanien. Liv. I. Cap. 3.

Nach einem vierten Gesetze, welches Mitchell in Beziehung auf die herrschenden Windrichtungen aufstellt, sollen Stürme und Gewitter in der Regel zwischen Mittag und Abend ausbrechen und mit westlichen Winden verbunden seyn. Der letztere Satz, welcher hier zunächst in Betrachtung kommt, läſst sich im Allgemeinen leicht beweisen, wie vielfach auch die Abweichungen davon in einzelnen Gegenden und Jahren seyn mögen, denn bei der einmal gegebenen östlichen Richtung der Passate müssen die zwischen beiden und auch die, an ihren einander entgegengesetzten Grenzen erzeugten, Wirbel nothwendig zunächst eine westliche Richtung annehmen, und da in den Zonen unter mittleren Breiten die rückkehrenden Passate als die herrschenden zu betrachten sind, so liegt auch hierin ein genügender Grund, daſs die Stürme in der Regel eine westliche Richtung haben. Dieses bezieht sich aber im Allgemeinen nur auf ihr Fortschreiten, und leidet auſserdem auf die Hurricane im atlantischen Oceane keine Anwendung, indem diese nach dem, was oben hierüber mitgetheilt worden ist, in der Regel, wo nicht allgemein eine östliche Richtung haben, bevor sie zum Theil wohl unter Mitwirkung des hindernden Einflusses der hohen Gebirge an den Westküsten America's eine Umdrehung erleiden. In Beziehung auf die Richtung der die Stürme bildenden Winde aber ist vor allen Dingen ihre wirbelnde Bewegung zu berücksichtigen, und dann zeigt sich der angegebene Satz keineswegs als haltbar, da bekanntlich im Verlaufe namentlich der heftigsten Orkane der Wind sich zu drehen, und in sehr vielen Fällen die ganze Windrose zu durchlaufen pflegt.

Wir wollen, statt dieser allgemeinen, im Ganzen nur oberflächlichen Bestimmungen, die an den verschiedenen Orten in der Regel vorherrschenden Windrichtungen, so weit die hierüber vorhandenen Nachrichten reichen, etwas näher betrachten, wobei das allgemeine Drehungsgesetz vorzugsweise Berücksichtigung verdient.

117) Im *groſsen Oceane* oder im stillen Meere giebt es der Störungen durch Continente und groſse gebirgige Inseln, die auf jeden Fall weit umher zerstreut liegen, am wenigsten, und die Winde sind daher daselbst am regelmäſsigsten; inzwischen ist auch dieses Meer verhältniſsmäſsig am wenigsten befahren, und Angaben über die dortigen Windverhältnisse sind

daher nur in geringer Zahl vorhanden. Nach allen Nachrichten läſst sich aber schlieſsen, daſs daselbst die Passate am regelmäſsigsten wehn. Die nördliche Grenze des NO.-Passates läſst sich diesemnach im Mittel unter dem Wendekreise, die südliche unter etwa 2° N. B. annehmen, indem beide im Sommer weiter nördlich, im Winter weiter südlich vorrücken. Hiermit stimmt vollkommen überein, daſs Kotzebue[1] diesen Passat am 23sten Sept. unter 26° 41′ antraf, weil er von seiner im Sommer angenommenen nördlicheren Entfernung noch nicht zurückgekehrt war, am 16ten November aber[2] erst unter 22° 34′ N. B.; am 23sten März verlor er denselben[3] unter 20° 15′, weil er von seiner südlichen Abweichung noch nicht zurückgekehrt war, im Mai dagegen war er schon bis zum Wendekreise vorgerückt[4], im December aber zeigte er sich bedeutend südlicher. Ebenso verlor ihn Vancouver[5] im März unter 21° N. B. und Cook[6] in eben dieser Jahreszeit schon unter 20° N. B. Der SO.-Passat auf eben diesem Meere geht nicht so weit nach Süden hinab, und erstreckt sich nach Cook nicht weiter, als bis 20° S. B., indem über diese Grenze hinaus die rückkehrenden westlichen Winde herrschen, doch unterliegt er der nämlichen Regel, daſs er im Sommer weiter nach N., im Winter weiter nach S. vorrückt. Diesem gemäſs traf ihn Carteret[7] erst unter 16° S. B., Cook[8] aber auf seiner Tour von Neuseeland nach Otaheiti im August erst unter 19° 36′ S. B.; im December dagegen erreichte Vancouver[9] seine Grenze unter 25° 26′ S. B. und im März unter 23° S. B., Krusenstern[10] aber im April unter 18° 45′. Kämtz setzt demnach im Mittel die südliche Grenze des Südost-Passates unter 21° und seine nördliche unter 2° bis 4° S. B.

---

1 Entdeckungsreise in die Südsee und nach der Behringsstraſse. Weimar 1821. 4. Th. II. S. 110.

2 Ebend. S. 11.

3 Ebendaselbst. S. 98.

4 Neue Reise. Th. II. S. 1 u. 83. K.

5 Voyage. T. I. p. 191. K.

6 Troisième Voyage. T. IV. p. 112. K.

7 Hawkesworth Geschichte der Seereisen. Th. I. S. 344. K.

8 Second Voyage. T. I. p. 140. K.

9 Voyage. T. I. p. 94. K.

10 Langsdorf's Reise. Th. I. S. 74.

118) Ungleich bekannter sind die Winde, namentlich die Passate, im *atlantischen Oceane.* Nach Romme[1] erstreckt sich der Nordost-Passat daselbst von den Parallelen 28° oder 30° N. B. bis zum Aequator in einem nach der Jahreszeit verschiedenen Abstande. Die südliche Grenze desselben reicht von 4° bis 14° N. B., indem sie im Februar bis 4° herab, im August dagegen bis 12°, ja sogar 14° N. B. heraufrückt. So traf Cook im September unter der Linie SO.-Wind, wonach er sich also dort schon im SO.-Passate befinden mufste, im August hörte der NO.-Wind erst unter 12° N. B. auf, unter 5° N. B. traf er S.- und SO.-Winde, zwischen 5° und 12° N. B. aber wechselnde Winde und Stürme, wonach also der Zwischenraum von nicht weniger als 7 Graden die Region der Calmen bilden mufste. Auf gleiche Weise fand Wallis im September die südliche Grenze des NO.-Passates unter 10° 30′ N. B., und von da an bis zum Aequator veränderliche Winde, Cook aber fand selbst im October jene Grenze unter 12° N. B. und südlich von diesem Parallel schwache, veränderliche Winde, Lapeyrouse im November O.- und SO.-Winde, also den Anfang des SO.-Passates erst unter 14° S. B. und Kotzebue[2] verlor am 13ten Nov. den NO.-Passat unter 9° 52′ N. B., kam am 18ten November unter 6° 48′ N. B. in den SO.-Passat, und erreichte dessen südliche Grenze am 1sten December unter 14° 40′,5 S. B. Vollständiger gab Seller[3] schon im Jahre 1675 die Grenzen des NO.-Passates in den verschiedenen Jahreszeiten an, und bezeichnete zugleich die Richtung des ihm auf seiner Fahrt entgegenströmenden SO.-Passates. Hiernach fällt die südliche Grenze des NO.-Passates im Januar, Februar und März unter 4° N. B., im April unter 5°, im Mai unter 6°, im Juni unter 8°, im Juli unter 10°, im August unter 11°, im September unter 10°, im October unter 8°, im November unter 6° und im December unter 5°. Der SO.-Passat ist vom November bis Mai SO., im letzten Monate etwas südlich, vom Juni bis October aber S., im Juli und August etwas westlich, woraus

---

1 Tableaux des Vents, des Marées et des Courans. Par. 1806. 4. T. I. p. 313.

2 Dessen Reisen. Th. 1. S. 104.

3 Horsburgh India Directory. 4. Lond. 1817. T. I. p. 26. Vergl. Dove in Poggendorff's Ann. XXI. 181.

hervorgeht, dafs in der Mitte des Sommers, wenn die südliche Grenze des NO.-Passates am höchsten heraufrückt, der SO.-Passat wegen der Drehung der Erde nicht blofs seine südliche Richtung wieder annimmt, sondern sogar in eine westliche übergeht. Zwischen beiden Passaten sollen die Winde nach SELLER veränderlich seyn, und zwar im nördlichen Theile zwischen N. und NO., im südlichen zwischen S. und SO. liegen. Am vollständigsten hat HORSBURGH [1] die Grenzen beider Passate zwischen 18 und 20° W. L. von G. aus den Angaben von 149 von N. nach S. und von 88 in umgekehrter Richtung segelnder Schiffe angegeben, wie folgende Tabelle zeigt.

Der Nordost-Passat

Monat	hörte auf Hinfahrt zwischen				Mittel		fing an Herfahrt zwischen				Mittel	
Januar	5°	bis	10°	N.B.	7°	N.B.	3°	bis	6°	N.B.	4°,5	N.B.
Februar	5	—	10	—	7	—	2	—	7	—	5	—
März	2,5	—	8	—	5,5	—	2	—	7	—	5	—
April	4	—	9	—	6	—	4	—	8	—	5,5	—
Mai	5	—	10	—	7	—	4,5	—	7	—	6	—
Juni	7	—	13	—	9	—	7	—	12	—	9	—
Juli	8,5	—	15	—	12	—	11	—	14	—	12	—
August	11	—	15	—	13	—	11	—	14,5	—	13	—
September	9	—	14	—	11,5	—	11	—	14	—	12	—
October	7,5	—	13	—	10	—	8,5	—	14	—	10	—
November	6	—	11	—	9	—	7	. . . .	.	—	7	—
December	5	—	7	—	6	—	3	—	6	—	5	—

1 A. a. O.

Der Südost-Passat

Monat	hörte auf Herfahrt zwischen	Mittel	fing an Hinfahrt zwischen	Mittel
Januar	0°,5 bis 4° N.B.	2°,25 N.B.	2° bis 4° N.B.	3° N.B.
Februar	2 S. — 3 —	1,5 —	0,5 — 1 —	1 —
März	1 S. — 2 —	1 —	0,5 — 2,5 —	1,5 —
April	2 S. — 2,5 —	1 —	0 — 2,5 —	1,5 —
Mai	1 N. — 4 —	2,5 —	0 — 4 —	3 —
Juni	1 — 5 —	3 —	0 — 5 —	3 —
Juli	1 — 6 —	4 —	1 — 5 —	3 —
August	3 — 5 —	4 —	1 — 4 —	2,5 —
September	2 — 4 —	3,5 —	1 — 3 —	2 —
October	2 — 5 —	3 —	1 — 5 —	3 —
November	3 — 4 —	3,5 —	3 — 5 —	4 —
December	1 — 4 —	2,5 —	1 — 4,5 —	4 —

Aus diesen vereinten Bestimmungen erhält man die Breite der zwischen beiden liegenden Region der Calmen, oder der veränderlichen Winde für die einzelnen Monate.

Monat	Südl. Grenze des NO.-Passat			Nördl. Grenze des SO.-Passat			Breite der Zwischenzonen	
Januar	5°	45′	N.B.	2°	45′	N.B.	3°	0′
Februar	6	0	—	1	15	—	4	45
März	5	8	—	1	15		3	45
April	5	45	—	1	15	—	4	30
Mai	6	30	—	2	45	—	3	45
Juni	9	0	—	3	0	—	6	0
Juli	12	0	—	3	30	—	8	30
August	13	0	—	3	15	—	9	45
September	11	45	—	3	0	—	8	5
October	10	0	—	3	0	—	7	0
November	8	0	—	3	45	—	4	15
December	5	30	—	3	15	—	2	15

Bestimmt man die Grenzen nach den Jahrszeiten, so erhält man folgende Gröfsen.

Grenze des

Jahreszeit	NO.-Passat			SO.-Passat			Breite der Zwischenzone	
Winter	5°	45′	N.B.	2°	25′	N.B.	3°	20′
Frühling	5	47	—	1	45	—	4	2
Sommer	11	20	—	3	15	—	8	5
Herbst	9	45	—	3	15	—	6	40
Jahr	8	12	—	2	20	—	5	52

In der Zwischenzone, namentlich an der Goldküste Africa's, herrschen vom Anfange des Monats April an bis Ende Juni vorzugsweise SW. und SSW.-Winde; auch sind Stürme daselbst nicht selten, die aber auf offener See nur 1 bis 2 Stunden, in der Nähe des Landes dagegen länger dauern[1]. Die Bestimmungen der Grenzen beider Passate durch Horsburgh sind auf so zahlreiche Beobachtungen gegründet, dafs es keiner sonstigen bedarf. Inzwischen möge hier noch angeführt werden, dafs d'Après[2] folgende südliche Grenzen des NO.-Passates angiebt.

Im Januar und Mai zwischen	6°	und	4°	N. B.
— Februar	3	—	5	—
— März und April . . .	5	—	2	—
— Juni . . . . . . bei	10			
— Juli, Aug., Sept. zwischen	13	—	14	

119) Die auffallende Erscheinung, dafs die Nordgrenze des SO.-Passates bis über den Aequator hinaufgeht, hat man aus der gröfseren Wärme der nördlichen Halbkugel abzuleiten gesucht, und namentlich nimmt Prevost[3] dieses Verhältnifs = 11 : 9 an, wodurch die Grenze beider Passate in 5° 12′ N. B. fallen würde. Abgesehn davon, dafs dieser Satz namentlich in Beziehung auf das Meer und die äquatorische Zone keineswegs genügend begründet ist[4], wenn gleich durch die gröfsere Ländermasse der nördlichen Halbkugel mehr Wärme entwickelt wird, so bemerkt Kämtz mit Recht, dafs dann das Nämliche

1 Romme Tableaux u. s. w. Th. I. S. 27.
2 Nach Dove in Poggendorff's Ann. XXI. 181.
3 Journ. de Phys. T. XXXVIII. p. 365 ff.
4 Vergl. Art. *Temperatur*. Bd. IX. p. 430.

auch im stillen Ocean statt finden müſste, wogegen aber die so eben mitgetheilten Bestimmungen streiten. Auſserdem aber würde hieraus folgen, daſs auch im Winter die mittlere Temperatur der nördlichen Halbkugel die der südlichen übertreffen müſste, was wohl niemand zugeben wird. Ungleich wahrscheinlicher ist es dagegen, daſs die Umgebung des atlantischen Oceans in der tropischen Zone diese Anomalie erzeugt, wie Romme[1] und v. Humboldt[2] annehmen. Zu den Hauptbedingungen gehört die groſse Bergkette des diesseits vom Aequator liegenden Theiles von Südamerica, von welchem herab die kälteren Luftmassen dem ohnehin stark erwärmten Meere zuströmen, und daher die andringenden nördlichen Luftströmungen zurückdrücken müssen, die Configuration der Westküste Africa's, wonach die südliche Luftbewegung frei bis zum Golph von Guinea über den Aequator hinaus gelangt, der aus diesem Meeresbecken nach den Antillen gerichtete warme Weststrom, und die ausgedehnte, unaufhörlich stark erwärmte Sahara, an deren südlicher Grenze sich eine Hochebene befindet, die der freien nördlichen Luftbewegung ein Hinderniſs entgegenstellt.

Zwischen beiden Passaten des atlantischen Oceans herrscht vorzugsweise mäſsiger Wind bei stets heiterem Himmel, und selten trifft man daselbst unregelmäſsige Winde mit Regen und Sturm, wie zur groſsen Verwunderung der Schiffer ausnahmsweise im Jahre 1803 unter 14° N. B. und 46° W. L. von Greenwich der Fall war, denn in diesem Meeresbecken ist es stets so ruhig, daſs die Seefahrer ihm den Namen *Golf der Frauen* (*el Golfo de las Damas*) geben[3], weswegen die nach Ostindien segelnden Schiffe von Madera aus hier hindurch nach der Küste von Brasilien steuern.

120) Auf dem indischen Meere werden die Windverhältnisse ausnehmend durch die ungleiche Beschaffenheit der dasselbe einschlieſsenden groſsen Ländermassen bedingt, die Passate treten daher nicht rein auf, sondern gehn nach der wechselnden Erwärmung in die Mussons über. An der westlichen Seite des groſsen Meeresbeckens liegt die mit hohen Bergen ver-

---

1 Tableaux des Vents. cet. T. I. p. 314.

2 Voyage. T. II. p. 6. K.

3 v. Humboldt Voyage a. a. O.

sehene Ostküste des südlichen Africa's und die gebirgige Insel Madagascar, an der nördlichen Seite treffen wir die ausgedehnten sandigen und vegetationsleeren Ebenen Arabiens, die sich bis nach Afghanistan erstrecken, und an die riesenmäſsig sich erhebenden Centralgebirge Asiens grenzen. Auf der indischen Halbinsel diesseits des Ganges fällt das Land an den Küsten von Malabar steil ab, anstatt daſs die Küste Coromandel sich nach dem Golph von Bengalen hin allmälig verflacht. Die östliche ostindische Halbinsel ist hinlänglich ausgedehnt und mit so hohen Bergen bedeckt, daſs hieraus ein merklicher Einfluſs auf die Windrichtungen erwachsen muſs, das chinesische Meer enthält nicht fern von den Küsten des Continentes eine Menge zerstreuter Inseln, namentlich die zu Japan gehörigen, unter dem Aequator selbst aber liegen viele, zum Theil mit sehr hohen Bergen versehene Inseln, als namentlich Sumatra, Java, Borneo, Celebes und andere. Alle diese Bedingungen stören die regelmäſsigen Passate, und verwandeln sie auf der nördlichen Halbkugel in Mussons; auf der südlichen dagegen ist zwar Neuguinea und vorzüglich Neuholland nicht ohne Einfluſs, jedoch nicht von einem solchen, welcher in gleichem Grade den SO.-Passat auf dem Meere aufzuheben vermöchte.

121) Den Uebergang der Passate zu den *Mussons* hat Dove[1] sehr lichtvoll aus einander gesetzt. Nach ihm sind die Mussons nichts anderes als Passate, welche an den nämlichen Orten zu verschiedenen Zeiten ebenso wechseln, als dieses an verschiedenen Orten zu der nämlichen Zeit statt findet. Wenn nämlich der NO.-Passat den Aequator überschreitet, so muſs er in Folge der Erdrotation durch N. in NW. übergehn, und ebenso der SO.-Passat durch S. in SW. Wenn man aber zugleich berücksichtigt, daſs die oben abflieſsenden und zurückkehrenden Aequatorialströme auf der nördlichen Halbkugel als SW.- und auch der südlichen als NW.-Winde zum Vorschein kommen, so entstehn hierdurch die drei Zonen, die der Windstillen, wenn diese anders existirt, da sie auf jeden Fall sehr schmal ist, die der regelmäſsigen Passate, und die der rückkehrenden Passate, wo bei niedrigem Stande der Sonne die Niederschläge herrschen. Durch den Wechsel der Windstillen mit den Passaten entstehn denn zwei Classen von Winden,

1 Poggendorff's Ann. XXI. 192.

zuerst die *intermittirenden*, wenn die Passate mit den Windstillen wechseln, wobei die ersteren mit heiterem Himmel, die letzteren mit Regengüssen verbunden sind[1], und zweitens die *alternirenden*, wenn der eine Passat mit dem andern wechselt. Diese letzteren sind es, welche im indischen Meere als die bekannten Mussons auftreten, doch hat die Configuration und die physische Beschaffenheit der dieselben einschliefsenden Länder einen sehr bedeutenden Einflufs auf die Entstehung und den Wechsel der dort herrschenden Winde, wie namentlich Kämtz im Einzelnen genügend nachgewiesen hat.

122) Südlich vom Aequator, zwischen 10° bis 30° S. B. auf der ganzen Strecke von Neuholland bis Madagascar weht, nach Halley[2] der SO.-Passat das ganze Jahr hindurch. Diesen hatte daher Carteret[3] auf seiner ganzen Fahrt von Java nach dem Vorgebirge der guten Hoffnung, King[4] traf ihn im Februar unter 13° S. B. und Kotzebue[5] verlor am 4ten März unter 29° 19′ S. B. diesen bis dahin so treuen Begleiter auf seiner Reise. In den Monaten vom Juni bis November nähern sich diese Winde dem Aequator bis auf 2°, von Anfang December bis Mai aber herrschen zwischen 3° bis 10° S. B. am Nordende Madagascars und zwischen 2° bis 12° S. B. in der Nähe von Java und Sumatra die entgegengesetzten NW.-Winde. Hieraus ersieht man also deutlich, auf welche Weise der regelmäfsige Passat in den alternirenden Musson übergeht. Weil aber bei nördlicher Abweichung der Sonne das Festland Africa weniger erwärmt wird, so herrschen dann auf Bourbon und Isle de France intermittirende Winde, auf der weiter vom Lande entfernten Insel Rodriguez dagegen dauert der Passat fort, bei südlicher Abweichung der Sonne dagegen wird Africa stärker erwärmt, die Südgrenze des Passates entfernt sich weiter vom Aequator, und der SO.-Passat weht so lebhaft an der Südspitze von Madagascar, dafs er in die Strafse von Mosambique eindringt, und weit in derselben hinaufgeht[6]. In der

1 Vergl. v. Humboldt in Ann. de Chim. et Phys. T. VIII. p. 179.
2 Philos. Trans. 1686. N. 183. p. 158.
3 Hawkesworth Geschichte der Seereisen. Th. I. S. 442. K.
4 Troisième Voyage de Cook T. IV. p. 469. K.
5 Reise. Th. II. S. 144.
6 Romme Tableaux cet. T. I. p. 127.

Nähe des Vorgebirges der guten Hoffnung zeigt sich der Wechsel der Passate und die Drehung des Windes in entgegengesetzter Richtung, als auf der nördlichen Hemisphäre, sehr deutlich. Nach den Beobachtungen von Wendt[1] herrscht daselbst im Sommer (dem südlichen Sommer, also bei südlicher Abweichung der Sonne) SO.-Wind (der SO.-Passat), welcher stärker wird, sobald er sich nördlich wendet. Sind die besten Sommermonate vorüber, so folgt nach einer Windstille von kurzer Dauer gewöhnlich sehr mäſsiger SO.-Wind mit auſserordentlich heiterem Himmel. Der Wind nimmt zu, wenn er sich östlich wendet, und ist er bis N. gekommen, so sieht man gewiſs im Westen schon Wolken mit Blitzen emporsteigen, und es erfolgt in weniger als einer halben Stunde ein Sturm aus WNW., der erst abnimmt, wenn sich der Wind nach 24 oder 48 Stunden mehr nach Süden wendet. Bei südlicher Declination der Sonne rückt der NO.-Passat weiter gegen Süden hinab, und es herrscht zwischen 5° N. B. und dem Aequator, von Sumatra bis zur Küste Africa's, ein ziemlich regelmäſsiger NO.-Wind mit heiterem Wetter. Aus dem Umkehren der Richtungen der Passate in ihrer Zwischenzone wird dann erklärlich, daſs zwischen dem Aequator und zwischen 8° S. B in der Mitte des indischen Meeres, 12° bis 13° S. B. aber unterhalb der Sunda-Inseln NW.- und SW.-Winde abwechselnd mit Windstillen und Stürmen herrschen, die von Romme[2] NW.-Mussons, von Le Gentil[3] SW.-Mussons genannt werden. Am deutlichsten zeigt sich der Uebergang der Passate zu den Mussons auf der Insel Sumatra, welche durch den Aequator in zwei Hälften getheilt wird[4]. Bei südlicher Abweichung der Sonne herrscht auf der nördlichen Hälfte der NO.-Passat, mit heiterem Wetter, während

1 Poggendorff's Ann. XXXVI. 329.

2 Tableaux a. a. O. p. 134.

3 Voyage. T. I. p. 639. K.

4 Nach Veicht in Philos. Trans. 1764 herrschen in der Straſse von Bencoolen an der Südwestseite von Sumatra und in der Straſse von Malacca während sechs Monaten des Jahres anhaltende Winde nach der einen Richtung und die anderen sechs Monate nach der entgegengesetzten; die Stürme kommen meistens mit Winden, die den herrschenden gerade entgegengesetzt sind, welche letztere sich aber sogleich wieder einstellen, wenn die Orkane aufhören.

auf der südlichen wechselnde westliche Winde mit Regen wehn, bei nördlicher Abweichung der Sonne kommt die Südhälfte der Insel in den Bereich des SO.-Passates, und die Nordhälfte in die Gegend der veränderlichen Winde. Die Mussons sind aber auf beiden Hälften nur dann regelmäſsig, wenn sie auf dem Meere stark wehn[1], und sie erstrecken sich mit Beibehaltung dieses regelmäſsigen Wechsels über die sämmtlichen Sunda-Inseln bis Timor[2] oder nach Horsburg[3] bis zu den Marianen. Bei nördlicher Declination der Sonne herrscht an der Südseite Javas ein Ostwind, welcher durch das Zusammentreffen der vom Südpole herbeiströmenden Luft mit der kalten, von den Bergen der Insel herabflieſsenden entsteht, zwischen dieser Insel und Neuholland herrschen dann aber die gewöhnlichen SO.-Passate[4]. Nördlich vom Aequator, zwischen der Küste Malabar und Africa, weht bei südlicher Abweichung der Sonne der NO.-Passat, seines Wechsels wegen dort Musson genannt, welcher näher nach den Küsten Arabiens in O, tiefer südlich in NW. übergeht, nahe an den Küsten aber mit den Land- und Seewinden wechselt. Bei nördlicher Abweichung der Sonne kommt die Zone nördlich vom Aequator zwischen beide Passate, es wehn auf dem offenen Meere die SW.-Mussons ziemlich regelmäſsig und mit gleicher Stärke, an der Küste Malabar und der Westküste Ceylons werden sie aber ungestüm, und wechseln mit Regen und Stürmen, während die Küste Coromandel heiteren Himmel hat. Durch die Küsten und deren eigenthümliche Lagen werden die Winde aufgehalten, ihre Richtungen leiden eine Veränderung[5], und dieses muſs vorzugsweise auch bei den mit geringerer Stärke wehenden Passaten und Mussons der Fall seyn. Nach Christie's[6] Beobachtungen kommt hierbei aber der Einfluſs der Gautsgebirge sehr in Betrachtung. Während in den Nächten der heiſsen Monate ein kalter Wind in den südlichen Theilen der Mahrattenstaaten weht, herrscht oft gleichzeitig an der West-

1 Vergl. Forrest on Monsoons. p. 107. Marsden history of Sumatra. a. a. O. K.

2 Romme Tableaux. T. I. p. 95.

3 India Directory. T. II. p. 233.

4 S. Romme Tableaux. T. I. p. 125 sq.

5 Romme. Ebend. p. 303.

6 Edinburgh New Philos. Journ. N. X. p. 301.

küste völlige Windstille. Indem nämlich die Gautsgebirge und westlichen Theile des Landes mit Wald bewachsen und stets feucht, also auch kälter sind, wenn namentlich bei Nacht die dürren Ebenen die Wärme länger beibehalten, so muſs die über diesen befindliche heiſsere Luft aufsteigen, und durch die eindringende kältere ersetzt werden. Der hierdurch erzeugte Wind hält dann so lange an, bis er durch den mächtigern NO.-Passat, welcher insbesondere am Tage viel stärker ist, zurückgedrängt wird. Die Gebirge des westlichen Theiles des Landes ragen aber 2500 engl. Fuſs über die westliche Küste empor, von letzterer her können daher die Winde nicht bis in die Mitte des Landes dringen, die hier herrschenden Westwinde können daher keine Seewinde seyn, wie manche glauben, hauptsächlich deswegen, weil an der Küste Windstille herrscht, weil die Seewinde durch die Gebirge zurückgedrückt werden, und sich nicht bis zu 2000 Fuſs Höhe erheben. Jene Westwinde im Innern des Landes müssen daher durch die Abkühlung der Luft über den Gautsgebirgen entstehn. Gelegentlich kann hier noch bemerkt werden, daſs nach dem Zeugnisse von Turnbull Christie[1] in Hindostan Gewitterstürme mit *Hagel* nicht ebenso selten sind, als man der gewöhnlichen Ansicht gemäſs zu glauben geneigt seyn dürfte, nach welcher es unter den Tropen gar nicht, mindestens nicht in geringen Höhen, hageln soll[2]. Er selbst erlebte im Mai 1823 zu Hyderabad unter etwa 17° N. B. ein Hagelwetter, und ein anderes wurde in demselben Monate, oder im Juni 1825 zu Darwar unter 16° 28′ N. B. beobachtet, wo sich das nämliche Phänomen im folgenden Jahre erneuerte. Diese drei Fälle waren übrigens die einzigen, die sich während seines fünfjährigen Aufenthalts in Ostindien ereigneten, nach angestellten Erkundigungen sammelte er aber noch verschiedene andere Zeugnisse, z. B. vom Colonel Bowler, welches selbst im Jahre 1805 ein Hagelschauer zu Trichinopoly erlebte, und von einem andern im Jahre 1817 im Goomsathale, etwa 25 engl. Meilen von Gamjam, nur wenige Fuſs über dem Meeresspiegel, genaue Kunde erhielt. Bei südlicher Abweichung der Sonne weht im Golph von Bengalen der NO.-Passat oder Musson, wird aber

---

1 Edinburgh New philos. Journ. N. XX. p. 308.

2 Vergl. Art. *Hagel*. Bd. V. S. 45.

erst im December regelmäſsig, und dreht sich im Januar, Febr. und März zuweilen schon nach SO., oder auch nach SW., ausgenommen an den Mündungen des Ganges, wo seine Richtung überhaupt nicht constant ist. Ebendaselbst ist er bei südlicher Abweichung der Sonne mehr südlich und selbst südöstlich, während im Meerbusen selbst die SW.-Mussons der Zwischenzone zwischen beiden Passaten wehn. Im Allgemeinen erwartet man nach WILLIAMS an der Küste von Bengalen Stürme, wenn der Südost aufhört, leichte Winde aus allen Gegenden wechselnd wehn, und das Meer sehr schön mit vielen Seesternen bedeckt ist[1]. Weit regelmäſsiger, als in diesem groſsen Meeresbecken, sind die Winde im chinesischen Meere, werden zugleich aber durch die Configuration der Länder bedeutend abgeändert. Während der südlichen Abweichung der Sonne herrscht daselbst ein Nordmusson, welchen die Inseln Malacca und Sumatra hindern, sich nach O. zu drehn. In der Bai von Tonkin nimmt der Wind mehr eine nordnordöstliche, im Golph von Siam hat er im November noch eine nördliche Richtung, geht aber im Januar mehr nach O. über. Während der nördlichen Declination der Sonne herrscht im chinesischen Meere ein eigentlicher Südmusson, welcher wohl ohne Zweifel durch den SO.-Passat erzeugt wird. Um diese Zeit ist der Wind auf Neuguinea SO., auf der Nordküste von Timor SSO., auf Java SO. durch Winde aus NO. unterbrochen; auf den Molukken ist er vorzugsweise SSO., auf Amboina und Banda mehr O. bis SO., auf den Philippinen wird der SW.-Musson erst im Juni beständig, und erstreckt sich dann bis zu den Marianen[2]. In der Bai von Tonkin scheinen die Winde meistens westlich zu seyn, im Golf von Siam zwischen SW. und W. zu liegen, womit das häufige Vorkommen der bereits erwähnten Typhons im chinesischen Meere sehr gut übereinkommt.

123) Die mit gar keinen oder nur wenigen und partiellen Unterbrechungen stets dauernden Passate, nebst den sie erzeugenden regelmäſsigen Strömungen der Luft von den Polen gegen den Aequator, so wie nicht minder die aus beiden nothwendig folgende Umdrehung der Winde, bedingen im Allge-

---

1 ROMME Tableaux. T. I. p. 149.

2 KÄMTZ Meteorologie. Th. I. S. 197.

meinen die an allen Orten herrschenden Windrichtungen, jedoch werden diese durch locale Einflüsse so vielfach modificirt, dafs sie oft kaum mehr kenntlich sind, und auf jeden Fall müssen mehrjährige genaue Beobachtungen zu Gebote stehn, wenn man die mittlere Richtung auffinden will. Wenn man daher die Winde in der äquatorischen Zone als beständige und wechselnde, die unter höheren Breiten aber unregelmäfsige nennt, so ist dieses im Allgemeinen zwar richtig, darf aber nicht so weit ausgedehnt werden, als ob bei der letzteren Classe gar keine Regel zum Grunde läge, da diese vielmehr bei den im dritten Abschnitte näher betrachteten allerdings vorhanden ist. Die geographische Verbreitung der Winde über die ganze Erdoberfläche kann daher erst dann mit der erforderlichen Vollständigkeit und Sicherheit gegeben werden, wenn von hinlänglich vielen Orten genügende Beobachtungen zu Gebote stehn, wobei sich die bereits nachgewiesenen Hauptursachen der normalen Windrichtungen, und die örtlichen Ursachen der Abweichungen von dem allgemeinen Drehungsgesetze deutlicher herausstellen würden. Es läfst sich hiernach mit grofser Wahrscheinlichkeit annehmen, dafs auf der südlichen Halbkugel auch unter höheren Breiten die Richtungen der Winde weit regelmäfsiger sind, als auf der nördlichen, und da sich sogar auf der letzteren in der gemäfsigten Zone ein Unterschied nach den Jahreszeiten zeigt, so läfst sich mit Grunde vermuthen, dafs dieses auf der ersteren noch weit mehr der Fall seyn wird, und dafs demnach die Mussons, wenn wir hierunter Winde der Jahrzeiten verstehn, dort ungleich häufiger sind, als man bisher annahm, obgleich es meistens schwer hält, den regelmäfsigen periodischen Wechsel im Einzelnen dann nachzuweisen, wenn die Zahl der örtlichen Bedingungen grofs ist. In Ermangelung der erforderlichen Thatsachen, um dieses in seiner Allgemeinheit nachzuweisen, mögen hier nur noch einige Einzelnheiten Platz finden.

124) Wenn nicht locale Hindernisse im Wege stehn, so dringen die Passate in Verbindung mit den Seewinden tiefer in das Land ein, und setzen sich daselbst fort. Am Orinoco unter 3° 54′ N. B. sah v. Humboldt[1] die höheren Wolken sich in der Richtung von O. nach W. bewegen, obgleich unten

1 Voyage. T. VII. p. 211. 277.

vollkommene Windstille herrschte, und über dem Amazonenstrome wehet der fortgesetzte Passat so lebhaft, daſs man ihn bei den Fahrten stromaufwärts benutzt. Auf gleiche Weise dringt der Ostwind zu Buenos Ayres bis zu den Anden vor[1], zu Rio de Janeiro dagegen verliert der Passat durch die Localität seinen Einfluſs sehr bald, wie wir oben (§. 63) gesehn haben. Im mittleren Europa ist die herrschende Windrichtung im Mittel die westliche, und dreht sich weiter östlich etwas mehr nach Norden; in den nordamericanischen Staaten zwischen 40° bis 44° N. B. ist die mittlere Windrichtung südwestlich, wie namentlich Dove[2] aus den genauen Beobachtungen an 57 Orten des Staates Newyork in den Jahren 1826 bis 1828 und 1830 bis 1838 nachgewiesen hat, woraus sich die mittlere Windrichtung S. 76° 54′ W. ergiebt, beides offenbar eine Folge der Umkehrung des NO.-Passates. Merkwürdig ist hierbei die durch Dove[3] gleichfalls nachgewiesene Regel, wonach bei ungewöhnlich hoher oder niederer Temperatur in Nordamerica meistens das Gegentheil hiervon in Europa statt findet, was vielleicht daraus folgen dürfte, daſs die vom americanischen Kältepole herabflieſsenden, auf die normal herrschenden Westwinde stoſsenden Luftmassen entweder auf der geraderen Strecke sich über Nordamerica verbreiten, oder in schieferer Richtung nach Europa gelangen. Ohne Zweifel ist wohl dieser Kältepol für das westliche Europa von gröſserem Einflusse, als der sibirische, obgleich auch diesem eine merkliche Einwirkung namentlich auf die Erzeugung der kalten O.- und NO.-Winde, welche im Frühjahre die Grippe erzeugen, nicht abzusprechen seyn dürfte. Auf manchen ausgedehnten Länderstrecken, insbesondere über weiten, von hohen Gebirgen eingeschlossenen Ebenen sind übrigens die örtlichen Einflüsse so bedeutend, daſs die Wirkungen der allgemeinen Windströmungen durch sie ganz verschwinden. Es lassen sich in dieser Beziehung nicht füglich die heiſsen Winde als vorübergehende Erscheinungen anführen, wohl aber die

---

1 S. Lambert in Ann. de Chim. T. XLII. p. 395.

2 Repertorium der Physik. Th. IV. Berl. 1841. S. 176. Vergl. Edinburgh Journ. of Science. N. XX. p. 267.

3 Ueber die nicht periodischen Aenderungen der Temperaturvertheilung auf der Oberfläche der Erde. Berl. 1840. II. Th. 4.

Windverhältnisse über und neben den Sandwüsten im Allgemeinen, nicht zu gedenken, dafs auch die bekannten Land- und Seewinde redende Beweise hierfür geben. Wegen der ausgedehnten Ebenen Aegyptens wehn im nördlichen Theile desselben die Winde im Juni aus N. und NW., dann bis zur Mitte Septembers aus N., im März und April aber aus SO., S. und SW., und man kann also annehmen, dafs neun Monate hindurch die Winde daselbst im Mittel nördlich sind[1]. Ueber der Sahara selbst ändern sich die Verhältnisse nach dem Stande der Sonne sehr bedeutend, vorzüglich wenn man als erwiesen annimmt, dafs am Südrande derselben sich ein ausgedehntes Plateau befindet. Dieses wird bei südlicher Abweichung der Sonne stark erwärmt, die Sahara erkaltet dagegen, und Mungo Park[2] fand daher am Südwestrande der Sahara im Winter gröfstentheils NO.-Winde, vom Mai bis September aber SW.-Winde. Im Osten dieser Wüste zu Assiout fand Browne[3] im November fast beständig NW.-Winde herrschend, und ebendiese zeigen sich nach Rüppell[4] im Winter zu Kordofan und Dongola. Ein ähnliches Verhalten findet ohne Zweifel über den ausgedehnten Ebenen Arabiens und Mesopotamiens statt, wie nicht minder in der Wüste Cobi, allein die Nachrichten, die wir hierüber haben, sind zu vereinzelt und zu mangelhaft, als dafs sich etwas genau bestimmtes hierüber aufstellen liefse. Einzelne Angaben können leicht irre führen, und als allgemein geltend dasjenige darstellen, was sich nach längere Zeit fortgesetzten Beobachtungen nur als Abweichung von einer ganz anderen Regel zeigen würde. Uebrigens scheint aus der allgemeinen Configuration der Länder hervorzugehn, dafs eine grofse nördliche Luftströmung vom sibirischen Kältepole aus über die Ebene östlich vom Aralsee und dem caspischen Meere herabfliefst, dann zwischen dem Euphrat und Indus herabgehend eine nordöstliche Richtung annimmt, und diejenigen Luftmassen liefert, welche den NO.-Passat des indischen Meerbusens bilden, nach ihrem Fortgange über die Sahara aber[5]

---

1 Volney Voyage. T. I. p. 60. Denon Voyage. p. 197.
2 Travels. p. 116. 167. u. a. a. O. K.
3 Travels. p. 149.
4 Reisen. S. 73 u. 163.
5 Vergl. Art. *Erde*. Bd. III. S. 1136.

sich mit dem NO.-Passate des atlantischen Oceans vereinigen, dessen Rückkehr als SW.-Passat nach Europa bereits öfter erwähnt worden ist. Hieraus dürfte die für eine zwischen 20° und 35° N. B. liegende Zone unglaubliche Kälte zum Theil erklärlich seyn, welche so oft in den Ländern zu beiden Seiten des Indus, am Gihon, in der Umgebung von Samarcand und in der Tartarei herrscht, ja nicht selten sich über Persien verbreitet.

125) Je weiter wir uns vom Aequator entfernen, sagt Scoresby[1] mit Recht, um so mehr werden die Winde unregelmäfsig. Allerdings läfst sich wohl eine gewisse Regelmäfsigkeit der vorherrschenden Windrichtungen auffinden, wie oben ausführlicher und bestimmter gezeigt worden ist, dennoch aber kommen zu allen Zeiten Winde aus allen Richtungen und mit sehr schnellem Wechsel vor. Es ist daher unnöthig, zu dem, was oben bereits über das Verhalten der Winde in der gemäfsigten Zone gesagt worden ist, noch weiter etwas hinzuzusetzen; je mehr man sich aber der Polarzone nähert, oder wenn man gar in diese selbst gelangt, um desto unregelmäfsiger werden die Winde. Im Allgemeinen ist dieses genügend bekannt, und obgleich uns verhältnifsmäfsig nur wenige genauere Nachrichten über ihr Verhalten in den Polarzonen bekannt sind, so genügt doch das, was Ross[2] und Scoresby[3] hierüber mitgetheilt haben, vollkommen, um eine Vorstellung von der aufserordentlichen Unstätigkeit und dem schnellen Wechsel der Stärke und Richtung der Winde in jenen Gegenden zu erhalten. Letzterer sagt: Stürme und Windstillen wechseln häufig ohne Vorzeichen, starke Winde herrschen an einem Orte, und in geringer Entfernung sehr mäfsig, ein Sturm aus Süden verschwendet seine Kräfte gegen einen ruhigen Wind, der ihm vom Eise entgegen kommt, ohne ihn zu überwinden, und Schiffe, die nicht weiter von einander entfernt sind, als im Kreise des Horizontes, unterliegen in denselben Augenblicken den an Stärke und Richtung verschiedensten Winden. Die Hauptursache hiervon liegt in dem Einflusse,

1 Account of the arctic Regions. Edinb. 1820. II T. 8. T. I. p. 396.

2 Appendix to the Narrative of a second Voyage cet. Meteorol.

3 Account a. a. O.

welchen das Meereis auf Erzeugung und Richtung der Winde ausübt. Wendet man sich von dieser allgemeinen Bestimmung zum Einzelnen, so geht den plötzlich ausbrechenden Stürmen gänzliche Windstille voraus, veränderliche Brisen wechseln mit heftigen Windstöſsen, und es zeigt sich eine eigenthümliche Bewegung der See, verbunden mit Schneegestöber, wobei dicke Flocken mit feinem Staubschnee wechseln, die zugleich die Atmosphäre verdunkeln. Wird es heller, so muſs man das Herannahen des Sturmes erwarten, während sich eine dem Blinken des Eises gleichende Helle am Horizonte zeigt, die seine Richtung andeutet, und ein Brausen in den oberen Regionen seine unmittelbare Ankunft verkündigt. Das Barometer, verglichen mit dem Thermometer, leistet hierbei für die Vorausbestimmung sehr wesentliche Dienste. So ereignete es sich am 5ten April 1811 unter 70° 49′ N. B., daſs das Barometer von 29,88 Z. engl. bis 29,5 Z. fiel, das Thermometer aber von — 12°,22 bis — 2°,77 C. stieg, und der helle Schein sich zwischen NNO. und OSO. zeigte. Der Wind drehte sich in einem Augenblicke von NNW. nach OSO., es schneiete weniger, aber der Wind blies so heftig, daſs die gröſste Anstrengung kaum genügte, die Segel herabzuziehn, um ihr gänzliches Zerreiſsen zu verhüten. Der Sturm hielt 3 Tage an, während welcher Zeit das Barometer unverändert blieb, der Wind aber so heftig tobte, daſs er eine 18pfündige Kanone fortschob und alles vom Verdeck herabriſs. Am 17ten Mai 1817, als das Schiff unter 76° 7′ N. B. im Eise festlag, wehte der Wind stark aus NNW., am folgenden Tage trat Windstille ein, und gleich darauf ein leichter Wind, welcher von NNW. durch W., S. und O. bis in seine ursprüngliche Richtung ganz herumlief. Unterdeſs sank das Barometer, gegen Abend trat Windstille ein, und gleich darauf folgte ein Sturm, bei welchem das Schiff nur mit Mühe und durch zeitig ergriffene Maſsregeln erhalten wurde. Auch bei den Stürmen der Polarzone hört man zuweilen vorher das Brausen in den höheren Regionen, und Scoresby der Vater rettete einst sein Schiff dadurch, daſs er es sofort aus seiner gefährlichen Lage brachte, weil er im Mastkorbe dieses Getöse gehört hatte. Hieraus läſst sich folgern, daſs die Stürme in gröſseren Höhen zuerst beginnen, was auch nothwendig der Fall seyn muſs, wenn wir annehmen, daſs die sie erzeugenden wirbelnden Luftsäulen keine

lothrechte, sondern eine gegen den Horizont geneigte Richtung haben, weil die auf der Erde ihrer Bewegung entgegenstehenden Hindernisse unten ihren Fortgang hemmen.

126) In jenen Gegenden herrschen ferner die intermittirenden Winde, bei denen einzelne Windstöfse (*Squals*) mit Windstillen wechseln. Im April 1814 z. B. unter 73° 29′ N. B. dauerten diese Windstöfse von 5 Minuten bis zu einer halben Stunde mit etwas kürzeren Zwischenräumen von Windstillen. Während der ersteren konnte das Schiff nur die kleinsten Segel tragen, während der letzteren volle Segel, und dieses dauerte von 8 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags, als mit einem Schneeschauer plötzlich völlige Windstille eintrat und eine Stunde anhielt, worauf der Sturm sich mit vermehrter Stärke erhob. Um 9 Uhr Abends drehte sich der Wind plötzlich von NNW. bis ONO. und legte sich dann. Minder heftig, und daher für die Beobachtung interessant waren die intermittirenden Windstöfse am 18ten April 1815 unter 78° N. B. unfern Spitzbergen. Veränderliche und partielle Winde giebt es zwar in allen Gegenden, aber nirgend so auffallend als in der Polarzone, was ohne Zweifel eine Folge der ungleichen Temperatur des Eises und des Meeres ist. Was aber am meisten auffallen mufs, ist, dafs nicht selten verschiedene und selbst entgegengesetzte Winde im Bereiche des sichtbaren Horizontes gleichzeitig existiren, wobei die gerade entgegengesetzt wehenden sich in der Mitte das Gleichgewicht halten, und Windstille erzeugen. So sieht man nicht selten Schiffe, die in nicht bedeutender Entfernung zur nämlichen Zeit von verschiedenen Winden getrieben werden, oder Windstille haben, während das eine sich in einem dichten Schneeschauer, das andere in heiterem Sonnenschein befindet. Unter andern sah Scoresby am 30sten April 1810 gleichzeitig mehrere Schiffe, deren zwei mit NO., zwei andere mit O. oder ONO., zwei mit SO. segelten, während er selbst NW.–Wind hatte. Auf gleiche Weise zeigen sich dort partielle Stürme auffallender, als in irgend anderen Gegenden unter niedrigern Breiten. So hatte unter andern sein Vater im grönländischen Meere einen ganzen Tag mit heftigen Winden gekämpft, als diese sich legten und ein anderes Schiff sich näherte, welches versicherte, dafs es nur schwache Winde gehabt habe.

127) Man darf im Allgemeinen annehmen, dafs in der

nördlichen Polarzone wegen der dort herrschenden tiefen Kälte und der ungeheuren, daselbst aufgehäuften Eismassen der Wind allezeit von diesen und dem gefrorenen Boden dem wärmeren Meere zuströmt. Im grönländischen Polarmeere sind daher Nordwinde vorherrschend, wie oben (§. 66) angegeben worden ist, bei Kamtschatka und in der Hudsonsbai, aus gleichen Gründen die vom Lande gegen das Meer gerichteten Westwinde[1], in Grönland wehn sieben Monate lang Nordwinde[2], und ebenso auf Spitzbergen, Jan Mayen und Nova-Zembla, wie dieses aus den Berichten derjenigen hervorgeht, die daselbst überwintert haben. Bloſs im Herbst wendet sich der Wind nach den Angaben von Scoresby[3], Cranz[4], Mackenzie[5] und Anderen nach SW. und S., und erzeugt dann die dortigen sehr heftigen Stürme. Sind diese vorüber, so folgen die nördlichen Winde mit starkem Froste, wobei indeſs eine ausnehmende, die Kälte sehr erleichternde Ruhe der Atmosphäre statt findet. Cranz berichtet, daſs nach den Herbststürmen oft zwei bis drei Monate völlige Ruhe und Heiterkeit der Luft herrscht, v. Ledebour[6] findet den sibirischen Winter weit erträglicher, als den unter minder hohen Breiten, weil Windstille und heiterer Himmel herrscht, die Theilnehmer an den Expeditionen von Parry und Ross klagten über empfindliche Kälte nur dann, wenn der Wind wehte, und Guthrie[7] bemerkt, daſs in den nördlichen Districten Ruſslands Hagelschauer und Stürme im Winter unter die Seltenheiten gehören, indem die Natur ihre Gaben überall gleichmäſsig vertheilt zu haben scheine, sofern in den nördlichen Gegenden anhaltende Heiterkeit des Himmels zum Ersatz der reichlichen Erzeugnisse diene, welche die Hitze der Sonne unter der äquatorischen Zone hervorrufe, die aber häufig auch eine Beute verheerender Stürme würden.

---

1 Pennant's arctic Zoologie. p. CXIII. u. 41.
2 Middleton's Vindication. p. 201.
3 Account cet. T. I. p. 412.
4 History of Greenland. T. I. p. 47.
5 Travels in Iceland during the Summer of 1810.
6 Nach mündlicher Mittheilung.
7 Ueber Ruſslands Klima in Edinb. Phil. Trans. T. II.

E. Wirkungen der Winde.

Verschiedene ältere Werke pflegen den Untersuchungen über die Winde noch Betrachtungen über den Nutzen und Schaden derselben, so wie über ihren Einfluſs auf die Vegetation und das thierische Leben hinzuzufügen, allein die Physik scheint mir als ernste Wissenschaft allzuweit vorgerückt zu seyn, um sich auf dergleichen oberflächliche, sehr bekannte und wenig Nutzen bringende Betrachtungen einzulassen. Wichtiger dagegen ist der Zusammenhang der Winde und Windrichtungen mit sonstigen zur Meteorologie gehörigen Erscheinungen. Dahin gehört vorzüglich der Einfluſs der Winde auf den Luftdruck, die Temperatur und die wässerigen Niederschläge, wovon hier noch mit wenigen Worten die Rede seyn möge, da die Hauptsachen schon früher ausführlich abgehandelt worden sind.

128) Es war bereits wiederholt die Rede von ungewöhnlich tiefen Barometerständen bei heftigen Stürmen, und man betrachtet ein schnelles und starkes Fallen des Quecksilbers als ein so sicheres Zeichen heftiger Winde, daſs sogar die gewöhnlichen Barometerscalen am tiefsten Puncte die Bezeichnung: Sturm, haben. Aus der oben im ersten Abschnitte gegebenen Theorie könnte man folgern, daſs der Barometerstand allezeit der Geschwindigkeit des Windes correspondire, allein dieses stimmt mit der Erfahrung nicht überein, theils wegen der drehenden Bewegung der Luftmassen, theils wegen des Trägheitsgesetzes, vermöge dessen die einmal in Bewegung befindliche Luft in diesem Zustande beharret, wonach es sich also ereignen kann, daſs zwei entgegengesetzte Winde gegen einander stoſsen, die zwischen ihnen befindliche ruhende oder mit dem Unterschiede ihrer Geschwindigkeiten bewegte Luft zusammendrücken, und auf diese Weise ein Steigen des Barometers hervorbringen. Hiervon abgesehn folgt aber theoretisch, daſs solche Luftmassen, die bei ihrem Fortschreiten abgekühlt werden, und dadurch an Elasticität abnehmen, ein Sinken des Barometers veranlassen müssen, mit umgekehrtem Erfolge bei denen, die sich mehr erwärmen; und es läſst sich daraus schlieſsen, daſs auf der nördlichen Halbkugel südliche Winde ein Sinken, nördliche dagegen ein Steigen des Barometers herbeiführen. Darf dieses als sicher begründet gelten, so läſst

sich auch umgekehrt vom Barometerstande auf die herrschende Windrichtung schliefsen, und man erhielte hiernach die *barometrische Windrose*, eine Bezeichnung, die, so viel ich weifs, zuerst durch Dove eingeführt worden ist. Ueber die Sache selbst war bereits oben[1] die Rede, und es genügt daher, hier nur dasjenige nachzutragen, was seitdem neu hinzugekommen ist.

129) Sehr merkwürdig ist das Resultat, welches Kupffer[2] aus der Zusammenstellung der Barometer- und Windbeobachtungen zu Petersburg in den Jahren 1822 bis 1835 erhalten hat. Hiernach waren die mittleren Barometerstände in englischen Zollen.

Bei N.-Wind		29,917	bei S.-Wind		29,925
— NO.	—	30,006	— SW.	—	29,424
— O.	—	30,007	— W.	—	29,908
— SO.	—	30,016	— NW.	—	29,833.

Bei Windstille war die Höhe der Quecksilbersäule 30,048, und es ergiebt sich daher hieraus, dafs dort alle Winde deprimirend auf das Barometer wirken, und zwar am stärksten die aus NW., am wenigsten die aus SO. wehenden. Im westlichen und mittleren Theile Europa's dagegen gehören den südlichen und westlichen Winden die niedrigsten, den nördlichen und östlichen dagegen die höchsten Barometerstände zu, doch geben selbst einzelne Jahre nicht unbedeutende Abweichungen von dieser allgemeinen Regel. Zum Beweise können die noch nicht erwähnten Resultate der Beobachtungen dienen, welche Prozell[3] in den Jahren 1831 und 1832 zu Neustrelitz angestellt hat. Hiernach war die Abweichung vom Mittel in Par. Linien für die einzelnen Winde:

Jahr	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
1831	1,81	1,20	0,58	0,00	−0,83	−1,78	−0,41	0,52
1832	0,96	1,75	1,30	0,12	−0,90	−1,15	−0,34	−0,41
Mittel	1,38	1,48	0,94	0,06	−0,87	−1,47	−0,38	0,06

1 S. Art. *Meteorologie*. Bd. VI. S. 1960. *Barometer*. Bd. I. S. 935.

2 Biblioth. univ. de Génève. 1839. N. 41. p. 176. Edinb. New Phil. Journ. N. LV. p. 83. Entnommen aus Kupffer et Wisniewski Observations météorol. faites à l'Acad. Imp. des Sc. de St. Petersburg. de 1822 — 1834. Pet. 1835. 4.

3 Berghaus Ann. der Erd- und Völkerkunde. 1833. N. 94 bis 96. S. 545.

Zu den Orten, für welche die den verschiedenen Windrichtungen zugehörigen Barometerstände bereits angegeben worden sind, können noch die von DOVE[1] für Bützow, Petersburg und Reikiavig, und von O. EISENLOHR[2] für Danzig[3] berechneten, und die verbesserten für Carlsruhe hinzukommen, die letzteren auf 12°,5 C. Temperatur reducirt.

	Bützow Par. Lin.	Petersburg engl. Zoll	Reikiavig Par. Lin.	Danzig Par. Lin.	Carlsruhe Par. Lin.
N.	338''',79	28'',065	332''',94	338''',70	334''',72
NO.	38,21	28,148	32,01	38,64	34,97
O.	38,35	28,149	31,99	38,77	34,51
SO.	36,22	28,158	32,03	38,78	33,50
S.	35,36	28,072	31,11	37,73	32,78
SW.	35,90	28,071	30,65	36,34	33,39
W.	36,97	28,054	33,46	37,15	33,66
NW.	37,86	27,986	33,83	37,91	34,30

130) Der Einfluſs der verschiedenen Windrichtungen auf den Stand des Barometers wird nur durch Vereinigung vieler Beobachtungen gefunden, und es geht schon hieraus hervor, daſs in einzelnen Fällen diejenigen Winde die Höhe der Quecksilbersäule vergröſsern müssen, welche sie im Ganzen vermindern, und umgekehrt. Hierbei dringt sich von selbst die Frage auf, ob diese Ausnahmen von der im Allgemeinen bestehenden Regel nur an einzelnen Orten statt finden, oder über gröſsere Strecken verbreitet sind. Die Beantwortung dieser Frage würde über die Gesetze der Windrichtungen vieles Licht verbreiten, und es lieſsen sich hierfür wohl Thatsachen aus der Zusammenstellung gleichzeitig an verschiedenen entlegenen Orten angestellter Beobachtungen der Barometerstände und Windrichtungen, namentlich aus den Mannheimer Ephemeriden, entnehmen, allein dieses würde eine weitläuftige Arbeit erfordern, wozu hier der geeignete Ort nicht ist, und auſserdem lassen sich von den

1 Repertorium. T. IV. p. 205.

2 Untersuchungen über den Einfluſs des Windes u. s. w. Carlsr. 1827. 4. S. 40.

3 Beob. von KLEEFELD von 1813 bis 1827. S. Poggendorff's Ann. XXXI. 465.

neuesten schärferen und zweckmäfsiger eingerichteten Beobachtungen ungleich genauere Resultate erwarten[1]. Es möge daher vorläufig genügen, hier die Aufgabe in Anregung gebracht zu haben, und noch folgende Bemerkung hinzuzufügen. Quetelet[2], von dessen eifrigen Bemühungen um Aufhellung der meteorologischen Probleme sich mit Grund reiche Früchte erwarten lassen, hat die Beobachtungen vom 21sten Juni 1841 an 24 verschiedenen Orten zusammengestellt, und erhielt hieraus für diesen Tag ein Steigen des Barometers im nördlichen Europa, hauptsächlich in Holland und Belgien, was aber in der Mitte Frankreichs und in Italien nicht der Fall war. Lyon schien der Hauptsitz von zwei vorzüglichen atmosphärischen Bewegungen zu seyn, deren eine zwischen 5 und 6 Uhr Abends, die andere um 2 Uhr des andern Nachmittags statt fand. Die eine zeigte sich im südlichen Frankreich, zugleich in Paris und an einigen noch nördlichern Orten, und fiel merkwürdiger Weise mit einer Afficirung der magnetischen Declination zu Brüssel zusammen; die andere schien blofs örtlich zu seyn, indem sie sich nur an nahe bei einander liegenden Orten zeigte. Am 21sten April desselben Jahres fiel Marseille in die Grenze der auf beiden Seiten einander entgegengesetzten atmosphärischen Schwankungen.

131) Mag man sich als Anhänger des allgemeinen Drehungsgesetzes der Winde bekennen, oder nur im Allgemeinen polare und äquatorische Luftströmungen annehmen, so folgt auf jeden Fall, dafs die aus niederen Breiten herkommenden wärmer, die aus höheren dagegen kälter seyn müssen. Fänden die Luftbewegungen in gerader Richtung statt, so würden die Südwinde Wärme, die Nordwinde aber Kälte bringen, die

1 Dove in Poggendorff's Ann. XXIV. 205 ff. Vergl. XI. 583. XIII. 588., hat hierüber folgende allgemeine Gesetze aufgestellt. Für die heifse Zone ergiebt sich aus den zu Calcutta angestellten Beobachtungen, dafs die in den Wintermonaten wehenden Winde das Barometer erheben, die in den Sommermonaten herrschenden dasselbe aber erniedrigen. In der gemäfsigten Zone sind die erhebenden Winde in den wärmeren Monaten die vorherrschenden, die deprimirenden aber im Winter, wie dieses aus den Beobachtungen zu Paris hervorgeht. In der kalten Zone nach Berechnung der barometrischen Windrose für Melvilleinsel, Winterinsel und Port-Bowen hat der Wind auf das Barometer keinen erheblichen Einflufs.

2 Bulletin de l'Acad. Roy. de Bruxelles. T. VIII. N. 9.

Ost- und Westwinde dagegen mittlere Tamperatur haben; allein eine solche directe Beweguug findet nicht statt, und ist mit dem schnellen Wechsel der Windrichtungen in den gemäfsigten und insbesondere den kalten Zonen unvereinbar, anderer Gründe nicht zu gedenken. Bestimmt man demnach die den verschiedenen Winden an gegebenen Orten zugehörigen Temperaturen, so erhält man deren von Dove so genannte *thermische Windrose*. Hiervon war bereits oben[1] die Rede, und es sind zu den daselbst mitgetheilten Bestimmungen keine so wichtige hinzugekommen, dafs ihre Aufnahme hier nöthig wäre[2]. Um aber an einem geeigneten Beispiele zu zeigen, welchen Einflufs die Winde auf die Temperatur in den einzelnen Monaten haben, theile ich die von O. Eisenlohr[3] nach 45jährigen, zu Carlsruhe angestellten Beobachtungen erhaltene Tabelle der den Hauptwinden zugehörigen mitleren Temperaturen in Graden der 80theiligen Scale mit.

Monat	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	—1°,94	— 3,00	— 2,87	— 0,79	2,00	2,40	0,86	— 0,10
Februar	0,70	— 0,55	0,60	2,61	4,12	3,69	2,68	1,47
März	3,34	3,06	3,64	3,70	8,85	5,72	5,38	3,98
April	7,19	8,48	8,44	12,41	9,53	8,77	9,15	7,54
Mai	11,66	12,47	13,39	14,81	13,80	12,09	12,65	12,91
Juni	13,90	14,70	15,33	15,14	15,47	13,84	14,48	14,23
Juli	14,88	16,21	17,11	18,01	16,27	15,24	15,98	15,75
August	14,51	15,68	16,17	16,27	15,58	14,91	15,53	15,85
Sept.	11,73	12,06	13,10	12,42	13,15	12,57	13,28	12,05
October	7,05	7,35	7,60	9,38	9,94	8,94	9,06	7,71
Nov.	2,57	2,05	1,97	4,30	6,22	5,35	4,92	4,12
Dec.	— 0,70	— 1,58	— 0,43	1,51	4,05	3,60	3,05	1,85
Winter	— 1,13	— 1,85	— 1,07	0,85	3,51	3,26	2,26	1,09
Frühl.	7,49	7,81	8,69	11,42	11,09	8,83	9,26	7,96
Sommer	14,38	15,50	16,12	16,80	15,81	14,72	15,37	15,24
Herbst	7,33	7,14	7,60	8,79	9,54	8,69	9,39	8,64
Jahr	7,90	6,64	6,81	9,76	10,09	8,80	9,77	9,20

1 S. Art. *Temperatur*. Bd. IX. S. 559. Die durch Dove zur Berechnung der thermischen Windrose benutzte, von Hällström in Poggendorff's Ann. VIII. 131 ff. aufgestellte empirische Formel findet man ebend. S. 561. Anm. 1.

2 Neuere Untersuchungen von Dove finden sich in dessen Repertorium u. s. w. Th. IV. S. 208.

3 Untersuchungen über den Einflufs des Windes u. s. w.

Um die Gröſse des Einflusses, welchen die Winde auf die Temperatur ausüben, genauer zu schätzen, dienen die nachfolgenden, für die nämliche Zeit gefundenen mittleren Temperaturen, nebst den gröſsten positiven und negativen Abweichungen von diesem Mittel, die positiven über, die negativen unter diesem Mittel genommen, und den Winden, denen diese zugehören.

Zeit	Mittel	Gröſster positiver Unterschied	Wind	Gröſster negativer Unterschied	Wind
Januar	—0°,335	2°,739	SW.	2°,666	NO.
Februar	1,919	2,206	S.	2,614	N.
März	4,507	4,346	S.	1,547	NO.
April	8,543	3,965	SO.	1,350	N.
Mai	12,469	2,344	SO.	0,807	N.
Juni	14,300	1,169	S.	0,561	SW.
Juli	15,697	2,316	SO.	0,818	N.
August	15,297	0,974	SO.	0,782	N.
September	12,546	0,732	W.	0,816	N.
October	8,272	1,665	S.	1,217	N.
November	4,055	2,169	S.	2,080	O.
December	1,648	2,398	S.	2,080	O.
Winter	1,061	2,449	S.	2,909	NO.
Frühling	8,534	2,884	SO.	1,040	N.
Sommer	15,110	1,695	SO.	0,729	N.
Herbst	8,258	1,284	S.	1,113	NO.
Jahr	8,288	1,807	S.	1,643	NO.

Im Allgemeinen bringen also die nördlichen Winde Kälte, die südlichen dagegen Wärme. Merkwürdig hierbei ist aber, daſs die Unterschiede in den Sommermonaten am geringsten, in den Wintermonaten am stärksten sind, und daſs namentlich die negativen in dieser Beziehung fast ganz regelmäſsig ab- und zunehmen, indem zugleich die gröſsere Kälte durch östliche Winde herbeigeführt wird. Sehr genau übereinstimmend mit dem, was Dove[1] aus den zu London angestellten Beobachtungen entnommen hat, leitet Eisenlohr[2] aus seinen Untersuchungen folgende allgemeine Sätze ab:

1 Poggendorff's Ann. XXXI. 561.
2 A. a. O. S. 58.

a) Diejenigen Winde, denen ein höherer-Barometerstand zugehört, führen eine niedrigere Temperatur herbei, und umgekehrt; die barometrische und thermometrische Windrose sind also einander entgegengesetzt, doch wird der Unterschied bei der thermometrischen in den heifsen Monaten geringer, und die höhere Temperatur gehört mehr den nördlichen und östlichen, die niedere mehr den südlichen und westlichen Winden an. Wir dürfen dieses wohl mit Sicherheit als eine Folge der gleichzeitig statt findenden Regenverhältnisse betrachten.

b) Das Maximum des Barometerstandes fällt gewöhnlich auf den Wind, bei welchem das Minimum der Temperatur eintritt, und umgekehrt, mit Ausnahme der wärmeren Monate, worin das Maximum der Temperatur mehr nach O. rückt, und also vor dem Minimum des Barometerstandes vorausgeht.

c) Die Wärme nimmt bei fallendem Barometer und östlichen Winden zu, bei steigendem Barometer dagegen, und bei westlichen Winden ab, ein Gesetz, welches im Winter am deutlichsten hervortritt, weil dann die Witterung von den herrschenden Winden am meisten abhängt.

132) Die theoretische Windrose läfst sich überall nicht wohl von derjenigen trennen, die den wässerigen Niederschlägen zugehört, und welche man allgemein die *hygrometrische* nennen könnte; eine Bezeichnung, die jedoch noch nicht eingeführt worden ist. Dieses geht aus der bekannten Erfahrung hervor, dafs die südlichen Winde neben der höheren Wärme zugleich Regen bringen. Inzwischen ist diese Sache nicht durchaus einfach, weil die atmosphärischen Niederschläge mit der Temperatur im genauesten Zusammenhange stehn, in welcher Beziehung Dove[1] mit Recht sagt, dafs beide einander gegenseitig bedingen. Wird die Aufgabe in ihrem ganzen Umfange aufgefafst, so gehört dahin zuerst die Frage, in wiefern die verschiedenen Winde die *Verdunstung* mehr oder weniger befördern. Höhere Temperatur, geringe Dichtigkeit und Trokkenheit der Luft sind die vorzüglichsten Beförderungsmittel der Dampfbildung, und die Verdunstung wird daher bei warmen und trocknen Winden, denen zugleich ein niederer Barometerstand zugehört, am stärksten seyn, wobei jedoch der Unter-

1 Poggendorff's Ann. XXXI. 545.

schied des Luftdruckes im Verhältnifs zu den beiden andern Bedingungen so wenig wirksam ist, dafs er füglich vernachlässigt werden kann. Den gröfsten Einflufs äufsert die Wärme, und deswegen ist die Verdunstung nach den bereits mitgetheilten Erfahrungen[1] im Sommer ungleich stärker, als im Winter; der Einflufs der Winde dagegen hängt zu sehr von localen Bedingungen ab, je nachdem sie zugleich trockene oder feuchte Luft herbeiführen, als dafs sich hierüber etwas Allgemeines aufstellen liefse. Verhältnifsmäfsig giebt es nur wenige Beobachtungen über die Stärke der Verdunstung, weil sie zu den schwierigern gehören, und man nicht leicht solche Resultate erhält, in denen die einzelnen wirkenden Ursachen sich von den wirkenden getrennt mit Sicherheit erkennen lassen, noch seltener aber sind solche, bei denen zugleich die Richtung der herrschenden Winde bemerkt wurde, und ich nehme daher um so lieber diejenigen auf, welche Sauvanau[2] im Jahre 1838 zu St. Rambert unter 45° 57′ N. B. und 3° 6′,5 östl. L. von Paris angestellt und bekannt gemacht hat. Das Mittel der Verdunstung an den 146 heiteren Tagen des Jahres betrug in Millimetern:

Bei	S.-Wind	8,15	Millim.	Bei	SW.-Wind		5,56
—	W.	—	6,89	—	— NW.	—	5,50
—	N.	—	6,41	—	— O.	—	5,27
—	NO.	—	5,81	—	Im Mittel		6,51.

Hiernach war die Verdunstung bei S.-Wind am stärksten, bei O.-Wind dagegen am schwächsten, ein Resultat, welches sich schwerlich an allen Orten des westlichen Europa's auf gleiche Weise herausstellen dürfte, am wenigsten in den nördlichern Gegenden, wo die östlichen Winde meistens zugleich warm und trocken sind.

133) Hauptsächlich hat Dove in einigen Abhandlungen[3] die Abhängigkeit des Dampfgehaltes der Atmosphäre von den herrschenden Winden nachgewiesen, und daher später den Ausdruck: *atmische Windrose* in Vorschlag gebracht. Die Auf-

---

1 S. Art. *Verdunstung*. Bd. IX. S. 1745.

2 Essais de Météorologie comparée. In Ann. des Sc. phys. et nat. d'agric. et d'industrie de la Soc. de Lyon.

3 Poggendorff's Ann. XVI. 385 u. 293. XXIV. 211.

gabe beruht auf dem Satze, dafs das atmosphärische Fluidum, welches auf das Quecksilber des Barometers drückt, aus zwei elastischen Körpern, der trocknen Luft und dem Wasserdampfe, besteht. Kennt man daher durch hygrometrische Messungen den Gehalt der Atmosphäre an Wasserdampf, und dessen durch die Temperatur bedingte Elasticität, so wird letztere von der gleichzeitigen Barometerhöhe abgezogen, und der Rest ist dann als Folge des Druckes der trocknen Luft zu betrachten. Hierbei tritt die Frage ein, bei welchen Winden die Elasticität des atmosphärischen Wasserdampfes gröfser oder kleiner ist, und dieses giebt die atmische Windrose (von ἀτμὸς Rauch, Dampf, Dunst). Aus leicht begreiflichen Gründen kann diese Frage nur für diejenigen Orte beantwortet werden, von denen gleichzeitige, barometrische, hygrometrische Beobachtungen neben denen der Windrichtungen bekannt sind, und Dove[1] wählt daher die durch Daniell[2] vom Sept. 1819 bis Aug. 1822 zu London angestellten. Die zur Eliminirung der Fehler gebrauchten Formeln sind folgende, wenn p den Druck der trocknen Luft, e die Elasticität des Wasserdampfes, B den Barometerstand und x den vom Nullpuncte der Windrose, also von N. durch O. nach S. und W. gezählten Winkel des Windes bezeichnet.

$$p_{(x)} = a + a' \text{Sin.}(x + \alpha') + a'' \text{Sin.}(2x + \alpha'')$$

$$e_{(x)} = b + b' \text{Sin.}(x + \beta') + b'' \text{Sin.}(2x + \beta'')$$

$$B_{(x)} = c + c' \text{Sin.}(x + \gamma') + c'' \text{Sin.}(2x + \gamma'').$$

Hierin sind $p_{(x)}$; $e_{(x)}$; $B_{(x)}$ die der trocknen Luft, dem Wasserdampfe und beiden vereint für einen Wind von der Richtung $= x$ zugehörigen Barometerstände, wonach also $(p_{(x)} + e_{(x)}) = B_{(x)}$ ist. Die Gröfsen a, b, c sind die für alle Winde gefundenen Mittel, die Gröfsen a', b', c' und a'', b'', c'', so wie α', β', γ' und α'', β'', γ'' werden aus den Beobachtungen entnommen. Es ist dann ferner

1 Poggendorff's Ann. XVI. 286.

2 Aus Essay's and Observations. 2te Aufl.

$$c = a + b,$$
$$c' \text{Cos.} \gamma' = a' \text{Cos.} \alpha' + b' \text{Cos.} \beta',$$
$$c' \text{Sin.} \gamma' = a' \text{Sin.} \alpha' + b' \text{Sin.} \beta',$$
$$c'' \text{Cos.} \gamma'' = a'' \text{Cos.} \alpha'' + b'' \text{Cos.} \beta'',$$
$$c'' \text{Sin.} \gamma'' = a'' \text{Sin.} \alpha'' + b'' \text{Sin.} \beta''.$$

Die aus Daniell's Beobachtungen entnommenen Gröſsen sind:

Winde	Trockne Luft	Elast. des Dampfes	Atmosphär. Druck	Anzahl
NO.	29",716	0",304	30",020	402
O.	29,674	0,334	30,008	240
SO.	29,463	0,414	29,877	333
S.	29,314	0,436	29,750	207
SW.	29,370	0,418	29,788	666
W.	29,474	0,379	29,853	654
NW.	29,547	0,331	29,881	519
N.	29,633	0,316	29,949	264

Die hieraus entwickelten, von den Beobachtungen nur unbedeutend abweichenden und daher mit Sicherheit anzuwendenden Formeln sind, gleichfalls in englischem Maſse:

$$P_{(x)} = 29'',52387 + 0'',18314 \text{Sin.} (x + 58° 16')$$
$$+ 0'',05373 \text{Sin.} (2x + 290° 43'),$$
$$e_{(x)} = 0'',36687 + 0'',06675 \text{Sin.} (x + 254° 58')$$
$$+ 0'',01172 \text{Sin.} (2x + 123° 41'),$$
$$B_{(x)} = 29'',89075 + 0'',12089 \text{Sin.} (x + 49° 10')$$
$$+ 0'',04329 \text{Sin.} (2x + 287° 9').$$

Dove gelangt durch seine Untersuchungen zu folgenden, allerdings merkwürdigen Resultaten, die jedoch nur für London gültig seyn können, wo die Beobachtungen angestellt worden sind.

a) Auf der Westseite der Windrose nimmt der Druck der trocknen Luft zu, auf der Ostseite ab.

b) Auf der Westseite der Windrose nimmt die Elasticität des Wasserdampfes ab, auf der Ostseite zu.

c) Da auf der Westseite die Zunahme des Druckes der trocknen Luft gröſser ist, als die Abnahme der Elasticität

des Wasserdampfes, und auf der Ostseite die Zunahme der Elasticität des Wasserdampfes geringer ist, als die Abnahme des Druckes der trocknen Luft, so steigt das Barometer, welches beide Veränderungen zugleich angiebt, mit westlichen Winden, und sinkt mit östlichen.

134) Für Halle hat Kämtz[1] aus seinen Beobachtungen in den Jahren 1834 bis 1837 folgende atmische Windrose aufgefunden:

NO. . . .	2''',91	SW. . . .	3''',31
O. . . .	3,06	W. . . .	3,22
SO. . . .	3,24	NW. . . .	3,06
S. . . .	3,47	N. . . .	2,98,

wonach also die Elasticität des atmosphärischen Wasserdampfes bei NO.-Wind ihr Minimum hat, dann mit der regelmäfsigen Drehung der Winde steigt, bei S. ihr Maximum erreicht und bis zum Anfangspuncte regelmäfsig abnimmt.

135) Hygrometrische Messungen sind ungleich seltener, als die Bestimmungen der Reinheit oder Trübung des Himmels, verbunden mit gleichzeitigen Beobachtungen der Windrichtungen, und es unterliegt zugleich keinem Zweifel, dafs sich auch aus diesen die atmische Windrose für die gegebenen Orte finden läfst. Letzteres ist namentlich durch Eisenlohr[2] für Carlsruhe nach 45jährigen Beobachtungen geschehn. Hiernach war die den verschiedenen Winden zugehörige mittlere Trübung:

1 Dove's Repertorium. Th. IV. S. 245.

2 Untersuchungen über den Einflufs des Windes u. s. w. S. 59.

Zeit	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	2,98	2,27	2,06	2,80	3,27	3,31	3,22	3,13
Februar	2,41	1,87	2,09	2,47	3,12	3,13	3,03	3,12
März	2,63	1,31	1,34	1,92	2,64	2,97	2,78	2,82
April	2,12	1,37	1,52	1,82	2,71	2,71	2,62	2,58
Mai	2,27	1,39	1,15	1,90	2,44	2,69	2,45	2,24
Juni	2,07	1,38	1,33	2,27	2,57	2,74	2,43	2,23
Juli	2,00	1,12	1,17	1,52	2,17	2,61	2,32	2,13
August	1,72	1,08	1,00	1,84	2,11	2,42	2,35	1,87
September	1,91	0,92	0,94	1,77	2,12	2,65	2,49	2,40
October	2,53	1,82	1,63	1,57	3,68	2,76	2,70	2,75
November	2,96	2,44	2,33	2,75	3,06	3,21	3,13	3,15
December	2,68	2,64	2,53	3,20	3,26	3,37	3,26	3,10
Winter	2,70	2,28	2,24	2,78	3,22	3,28	3,17	3,12
Frühling	2,33	1,47	1,33	1,87	2,55	2,80	2,61	2,56
Sommer	1,96	1,20	1,16	1,79	2,26	2,54	2,36	2,09
Herbst	2,44	1,74	1,63	1,92	2,66	2,90	2,75	2,70
Jahr	2,31	1,70	1,65	2,06	2,66	2,90	2,68	2,54

Die Uebersicht ergiebt, dafs die Bewölkung unter allen Monaten im August am geringsten, im December am stärksten ist. Am deutlichsten geht dieses aus einer Zusammenstellung der mittleren Trübungen und der positiven sowohl, als auch der negativen Unterschiede dieser und der den einzelnen Winden zugehörigen hervor, wenn die ersteren angeben, wie viel die wirkliche Trübung über der mittleren, die letzteren aber, wie viel sie unter derselben betrug.

Zeit	Mittel	Gröfster positiver Unterschied	Wind	Gröfster negativer Unterschied	Wind
Januar	2,835	0,475	SW.	0,753	O.
Februar	2,685	0,446	SW.	0,816	NO.
März	2,397	0,577	SW.	1,053	O.
April	2,198	0,519	SW.	0,823	NO.
Mai	2,124	0,571	SW.	0,969	O.
Juni	2,197	0,547	SW.	0,866	O.
Juli	2,122	0,492	SW.	1,004	NO.
August	1,955	0,463	SW.	0,952	O.
September	1,989	0,666	SW.	1,065	NO.
October	2,356	0,402	SW.	0,783	SO.
November	2,926	0,283	SW.	0,593	O.
December	3,053	0,315	SW.	0,524	O.
Winter	2,866	0,410	SW.	0,629	O.
Frühling	2,239	0,559	SW.	0,905	O.
Sommer	2,091	0,447	SW.	0,934	O.
Herbst	2,427	0,471	SW.	0,798	O.
Jahr	2,403	0,495	SW.	0,754	O.

Hiernach sind die Ost- und Nordostwinde die trockensten, der Südwestwind ist aber der feuchteste; die geringste mittlere Bewölkung fällt in den August, im September aber bringt der Südwestwind die stärkste, der Nordostwind die geringste Bewölkung. Die zur Berechnung der gesuchten Gröfsen angewandte Formel ist mit Beibehaltung der oben gebrauchten Bezeichnungen, wenn $C_{(x)}$ die der gegebenen Windrichtung zugehörige Stärke der Trübheit des Himmels, C die aus den Beobachtungen entnommene mittlere bezeichnet, c' und c'', γ' und γ'' aber aus den Beobachtungen zu bestimmen sind:

$$C_{(x)} = C + c' \,\mathrm{Sin.}(x + \gamma') + c'' \,\mathrm{Sin.}(2x + \gamma'').$$

In Zahlengröfsen wird für das ganze Jahr:

$$C_{(x)} = 8{,}701 + 6{,}89897 \,\mathrm{Sin.}(x + 207° \, 25') + 1{,}33591 \,\mathrm{Sin.}(2x + 356° \, 14').$$

136) Der Einflufs der Winde auf die Regenmengen an den verschiedenen Orten ist so bedeutend und daher so bekannt, dafs man häufig von Regenwinden redet. Hierüber ist bereits oben[1] gehandelt worden, und daher möge nur noch bemerkt wer-

1 S. Art. *Regen*. Bd. VIII. S. 1265.

den, dafs sich hiernach auch eine *hyetometrische Windrose* aufstellen liefse, welcher Name indefs bis jetzt gleichfalls noch nicht aufgenommen worden ist. Es unterliegt hierbei keinem Zweifel, dafs es am zweckmäfsigsten ist, die wässerigen Meteore im Allgemeinen zu berücksichtigen, weil dann die Untersuchungen sich auf alle Gegenden der Erdoberfläche und zugleich auf alle Jahreszeiten beziehn können. In diesem weiteren Umfange ist die Aufgabe früher jederzeit aufgefafst worden und auch bei Howard's[1] Angaben der Regenmengen für London ist vom Ergebnifs der sämmtlichen Hydrometeore die Rede. Aus diesen hat Dove[2] folgende Tabelle über die den verschiedenen Winden zugehörigen Regenmengen berechnet, die ich hier mittheile.

Zeit	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	2,63	2,87	4,09	3,78	3,01	13,27	6,37	2,74
Februar	0,51	2,06	2,24	3,54	2,44	12,49	4,86	7,53
März	1,19	1,80	1,60	3,62	2,39	13,51	3,42	5,69
April	1,36	7,74	6,76	3,14	2,31	9,05	4,52	5,71
Mai	1,71	10,66	4,65	3,47	4,47	13,17	2,55	4,21
Juni	2,06	4,38	1,63	2,63	2,92	13,53	4,46	6,62
Juli	0,95	3,03	3,17	2,11	2,66	16,06	10,76	9,35
August	1,65	3,68	1,69	4,28	2,02	16,83	4,39	14,88
September	2,54	4,22	1,19	4,01	3,33	17,27	7,35	7,72
October	0,90	5,53	4,01	8,60	7,06	18,38	5,67	5,14
November	3,03	5,04	3,08	4,30	3,59	20,62	5,04	5,06
December	0,46	3,70	3,03	7,40	4,12	20,85	5,79	4,75
Winter	3,60	8,63	9,36	14,72	9,57	46,61	17,02	15,02
Frühling	4,26	20,20	13,01	9,23	9,17	35,73	10,49	15,61
Sommer	4,66	11,09	6,49	9,02	7,60	46,42	19,61	30,85
Herbst	6,47	14,79	8,28	16,91	13,98	56,27	18,06	17,92
Jahr	18,99	54,71	37,14	49,88	40,32	185,03	65,18	79,40

Dove bemerkt, dafs die hier erhaltenen Zahlen zwar nicht für absolut genau gelten können, was schon deswegen nicht angeht, weil die Beobachtungen nicht für diesen speciellen Zweck angestellt wurden, inzwischen so viel aus ihnen unverkennbar hervorgeht, dafs die gröfste Wassermenge durch Südwest-

1 The Climate of London deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it. London 1832. III Voll. 8.

2 Poggendorff's Ann. XXXI. 572.

winde herbeigeführt wird. Eben hierzu gelangte auch O. Eisenlohr[1] durch Zusammenstellung der Carlsruher Beobachtungen, und es läfst sich hierauf mit grofser Wahrscheinlichkeit die Folgerung gründen, dafs dieses nämliche Gesetz für das ganze westliche Europa gilt, was dann sehr zu Gunsten des Drehungsgesetzes der Winde entscheidet, insofern daraus hervorgeht, dafs die südlichen feuchteren und wärmeren Luftmassen nach ihrer westlichen Umdrehung theils durch Wärmeverlust im Allgemeinen, theils durch Vermengung mit den kälteren nördlichen Luftmassen abgekühlt werden und das enthaltene Wasser abgeben. Eisenlohr hat zwar die verschiedenen Arten der Niederschläge, Nebel, Regen, Schnee und Hagel, einzeln zusammengestellt, allein zugleich auch alle vereint, und Letzteres allein verdient hier aufgenommen zu werden. Nach der von ihm gewählten Methode sind die in der nachfolgenden Tabelle enthaltenen Zahlen die Quotienten, welche man erhält, wenn man die gesammte Zahl der beobachteten Winde durch die Zahl der bei ihnen eingetretenen Regen dividirt, wonach also die geringsten Werthe den gröfsten Regenmengen zugehören. So wurden z. B. 4594mal Nordwinde und 840 gleichzeitige wässerige Niederschläge aufgezeichnet, was für das ganze Jahr $\frac{4594}{840} = 5{,}469$ giebt, d. h. Nordwinde weheten 5,469mal, ehe einmal ein wässeriger Niederschlag mit ihnen verbunden war[2].

1 A. a. O. S. 76 ff.

2 Die andere Methode, wonach die Verhältnifszahlen die Mengen der bei den genannten Winden statt findenden Regen ausdrücken, dürfte wegen der leichteren Uebersicht den Vorzug verdienen.

Zeit	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Januar	4,81	11,57	12,06	5,10	4,56	2,64	2,84	3,19
Februar	4,67	12,85	11,44	3,80	3,77	2,67	3,47	2,92
März	4,54	12,14	13,91	8,67	3,13	2,49	3,24	3,12
April	4,80	11,65	14,70	4,75	2,54	2,85	3,50	3,89
Mai	5,08	10,69	27,85	4,36	3,29	2,68	4,13	5,68
Juni	6,41	14,60	10,26	3,33	2,44	2,69	3,37	5,07
Juli	6,86	17,13	11,60	7,00	3,27	2,94	3,94	4,42
August	6,76	20,40	30,89	7,00	3,56	3,36	3,66	5,87
September	6,67	29,31	32,30	6,67	3,92	2,85	4,32	4,62
October	5,63	11,44	18,06	8,90	3,48	3,25	3,34	3,97
November	5,94	7,07	9,84	6,29	2,95	2,50	3,05	5,00
December	4,68	8,20	14,64	4,17	3,05	2,44	3,78	4,75
Winter	4,72	10,43	12,67	4,38	3,60	2,57	3,32	3,52
Frühling	4,80	11,48	17,29	5,09	2,98	2,66	3,61	3,94
Sommer	6,64	16,99	14,64	5,68	3,08	2,99	3,84	4,99
Herbst	6,08	11,34	16,05	7,52	3,38	2,81	3,55	4,40
Jahr	5,47	11,92	14,88	5,63	3,24	2,75	3,60	4,22

Die aus dieser Tabelle hervorgehenden Resultate lassen sich am deutlichsten übersehn, wenn man sie mit den mittleren Gröfsen vergleicht, welche für alle Windrichtungen folgende sind:

Zeit	Mittel	Zeit	Mittel	Zeit	Mittel
Januar	4,160	Juli	4,280	Winter	3,915
Februar	3,923	August	4,835	Frühling	4,274
März	4,019	September	4,928	Sommer	4,457
April	4,315	October	4,787	Herbst	4,328
Mai	4,514	November	3,560	Jahr	4,235
Juni	4,305	December	3,700		

Hiernach sind die Hydrometeore in den einzelnen Monaten ziemlich gleich zahlreich, am seltensten im August, September und October, am häufigsten im November, demnächst im December; unter den Jahreszeiten hat der Sommer die wenigsten Niederschläge, dann folgt der Herbst, und der Winter hat die meisten. Unter den Winden hat in allen Jahreszeiten der SW. die meisten, dagegen der O. und im Sommer der NO.-Wind die wenigsten, auch bringen überhaupt die Winde der westlichen Seite der Windrose die meisten, die der östlichen die wenigsten Hydrometeore. Es liefse sich noch die Untersuchung an-

reihen, welche Winde am häufigsten in Stürme ausarten, allein hierüber sind gelegentlich schon verschiedene Angaben beigebracht worden; wollte man aber die Aufgabe bis zur Untersuchung der ungleichen Stärke der verschiedenen Winde ausdehnen, so fehlt es hierzu noch an den erforderlichen Beobachtungen.

137) Auch der Mond soll nach SCHÜBLER[1] einen Einfluſs auf die Windrichtungen haben, und wenn sich dieses bestätigte, so würden wir hiernach auch eine *lunarische Windrose* erhalten. Zur Begründung jener Behauptung dienen 16jährige zu Augsburg angestellte Beobachtungen, aus denen folgende Resultate hervorgehn, wenn zu den nördlichen Winden NW., N., NO., zu den westlichen SW., W., NW. u. s. w. gezählt und die mittleren Windrichtungen nach der Lambert'schen Formel gefunden werden.

Tag des	Verhältniſs der nördl. zu südl. Winden	Verhältniſs der östl. zu westl. Winden	Mittlere Windrichtung
Neumonds	100 : 108,4	100 : 120,4	19° 0' oder SSW.
ersten Viertels	100 : 108,8	100 : 149,4	55 58 oder SW. gen W.
zweiten Octanten	100 : 118,8	100 : 160,4	78 34 oder W. gen S.
Vollmonds	100 : 106,9	100 : 159,2	85 37 fast W.
letzten Viertels	100 : 106,9	100 : 112,8	90 0 W.

Diese Resultate sind aus folgenden beobachteten Windrichtungen entnommen:

Tag des	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
Neumonds	6,5	18,5	44,5	13,0	17,0	28,0	45,0	28,5
ersten Viertels	8,0	12,5	40,0	17,0	17,5	24,5	55,0	24,5
zweiten Octanten	7,0	16,0	33,0	18,0	12,5	23,0	62,5	22,0
Vollmonds	11,5	15,5	35,5	16,5	12,5	25,0	59,0	23,5
letzten Viertels	12,0	29,5	41,5	10,5	13,5	35,0	38,5	18,5

Auch die Apsiden sollen auf die Windrichtung einen Einfluſs ausüben, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

1 Untersuchungen über den Einfluſs des Monds auf die Veränderungen unserer Atmosphäre. Leipzig 1830. S. 23. Vergl. Art. *Meteorologie*. Bd. VI. S. 2052.

Tag	Verhältnifs der nördl. zu südl. Winden	Verhältnifs der östl. zu westl. Winden	Mittlere Windrichtung
der Erdnähe	100 : 138,0	100 : 142,3	72° 28′ oder WSW.
nach der Erdnähe	100 : 93,8	100 : 160,5	90 10 oder W.
der Erdferne	100 : 138,0	100 : 147,4	54 8 od. SW. gen W.
nach der Erdferne	100 : 104,7	100 : 123,0	78 16 oder WSW.
2 Tage nach d. E.	100 : 100,0	100 : 119,4	97 46 oder W. gen N.
3 Tage nach d. E.	100 : 88,0	100 : 107,3	126 14 od. NW. gen W.

Die Beobachtungen, aus denen diese Resultate hervorgehn, sind folgende, wenn wir die vorstehenden 6 Bestimmungen durch A, B, C, D, E, F bezeichnen.

Tag	N.	NO.	O.	SO.	S.	SW.	W.	NW.
A	5,0	22,0	40,0	17,0	14,5	32,0	61,5	19,0
B	7,5	21,5	35,5	16,5	14,0	30,5	51,5	36,0
C	6,5	17,5	38,5	21,0	15,0	37,5	54,0	22,0
D	9,0	21,5	47,0	16,0	14,5	25,5	55,5	23,0
E	18,0	23,5	44,0	15,0	12,0	33,5	47,0	19,0
F	11,0	29,0	41,0	19,0	12,5	28,0	40,5	27,0

Ob aus diesen Bestimmungen wirklich ein Einflufs des Mondes auf die Windrichtungen folge, ist keineswegs leicht zu entscheiden, wenigstens nicht durch die hier gegebenen Zusammenstellungen. Die mittlere Windrichtung zu Augsburg ist nach den oben angestellten Untersuchungen ohne Zweifel eine nahe westliche, mit gröfserer oder geringerer Abweichung nach Süden und auch etwas nach Norden. Eben diese erhalten wir hier für die verschiedenen Mondphasen und die Apsiden; die einzigen etwas hervorstechenden Unterschiede zeigen sich beim Neumonde durch die stark westliche und am 3ten Tage nach dem Apogeum durch die überwiegend nördliche Richtung. Um aber hieraus auf einen Einflufs des Mondes zu schliefsen, müfsten die Richtungen für die gleichen Tage, an denen kein Neumond und kein Apogeum statt fand, gesucht und die erhaltenen Resultate mit den hier gefundenen verglichen werden. Um aber hierbei so leicht mögliche Zufälligkeiten auszuscheiden, müfsten nothwendig vieljährige genaue Beobachtungen vorhanden seyn. Weitere Untersuchungen zur Begründung

oder Widerlegung dieser Hypothese sind mir nicht bekannt geworden.

M.

Windbüchse.

Sclopetum pneumaticum; Fusil à vent, arquebuse à vent; *Air-gun, Wind-gun.*

Die Construction der Windbüchse beruht auf der Elasticität der atmosphärischen Luft, welche nach dem Mariotte'schen Gesetze der zusammendrückenden Kraft direct proportional ist. Dafs dieses Gesetz nicht bis zu den äufsersten Grenzen nach beiden Seiten hin gültig seyn könne, ist zwar am gehörigen Orte[1] gezeigt worden, da aber noch niemals beim Gebrauche der Windbüchsen eine Abweichung von demselben in Folge einer Verwandlung der atmosphärischen Luft in eine tropfbare Flüssigkeit entdeckt worden ist, so wollen wir einstweilen dasselbe für unsern vorliegenden Zweck als bestehend annehmen, und später auf diese Frage wieder zurückkommen. Die verdichtete Luft strömt in den leeren oder mit verdünnterer Luft erfüllten Raume nach gewissen, gleichfalls bereits untersuchten[2] Gesetzen ein und treibt dann andere Körper mit einer ihrer Elasticität proportionalen Geschwindigkeit vor sich her. Haben diese Körper einmal eine gewisse Geschwindigkeit angenommen, so werden sie diese auch nach dem Aufhören des Druckes beibehalten und fortgeschleudert werden, bis der Widerstand der Luft ihre Bewegung aufhebt und die Schwere sie wieder mit der Erde in Berührung bringt. Hierauf beruht die Wirkung der Windbüchsen; die comprimirte Luft vertritt bei ihnen die Stelle des aus dem Schiefspulver durch Entzündung desselben entwickelten Pulvergases und es lassen sich daher auf sie die vielfach untersuchten ballistischen Gesetze anwenden.

Der *Erfinder* der Windbüchsen ist unbekannt, doch gehören sie wohl ohne Zweifel der neueren Zeit an, denn dafs die Alten sehr starke Zusammendrückungen der Luft versucht

1 S. Art. *Gas.* Bd. IV. S. 1035.
2 S. Art. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 594 u. 690.

haben sollten, wie BARLOW[1] meint, läſst sich wohl nicht aus ihrer Kenntniſs des Heronsballs und Heronsbrunnens folgern; die Absperrung der verdichteten Luft geschah bei ihnen mit Anwendung des Wassers, und schwerlich erlaubte ihre geringere mechanische Kunstfertigkeit die Construction luftdichter Kolben und Ventile. Hätten sie stärkere Compressionen der Luft für sich allein gekannt, so würde sie dieses sicher zur Kenntniſs des Mariotte'schen Gesetzes geführt haben. Die älteste Nachricht über die Windbüchsen hat MUSSCHENBROEK[2] mitgetheilt, indem er erzählt, es befinde sich in der Waffensammlung eines Deutschen, v. SCHMETTAU, eine Windbüchse mit der Jahreszahl 1474. Ob es mit dieser Zahl, als eigentlicher Jahreszahl der Erfindung, seine Richtigkeit habe, muſs wohl auf sich beruhn, inzwischen nennen die Nürnberger Chronikenschreiber[3] einen gewissen HANS LOBSINGER (starb 1570) als denjenigen, welcher um das J. 1560 die Windbüchsen erfunden habe. Da Nürnberg um jene Zeit in allen Gegenständen der Kunst, und namentlich auch der mechanischen Kunstfertigkeit, allen übrigen Städten voraus war, und alle neue technische Erfindungen dort sehr bald bekannt wurden, keiner sich daher eine bereits gemachte leicht aneignen konnte, so darf man mit hoher Wahrscheinlichkeit den genannten Künstler für den ersten Erfinder halten. Bekannter wurden die Windbüchsen im Anfange des 17. Jahrhunderts, indem ein französischer Künstler MARIN solche für HEINRICH IV. verfertigte[4]. Bald nachher soll ein Künstler KELNER aus Nürnberg gröſsere Windbüchsen, eigentliche Windkanonen verfertigt haben, deren eine nach Prinkenau in Schlesien kam, eine andere aber dem Könige FRIEDRICH AUGUST von Polen gehörte. Die letztere schoſs bleierne Kugeln von 4 ℔. Gewicht mit solcher Gewalt, daſs sie auf 400 Schritt Entfernung zwei Zoll dicke Breter durch-

1 Encyclopaedia metropolitana. Art. *Pneumatics*. p. 380.

2 Introductio in philos. Nat. T. II. p. 860. §. 2111.

3 Merkwürdigkeiten d. Stadt Nürnberg. S. 732. Kleine Chronik Nürnbergs. 1790. S. 68.

4 MUSSCHENBROEK a. a. O. bezieht sich auf MERSENNE in phaenom. pneumatica. prop. 32, BARLOW dagegen a. a. O. auf RIVAUT (DAVID RIVALTIUS), welcher im Jahre 1607 zu Florenz florirte, nachher Lehrer LUDWIG's XIII. wurde, und in seinen Élémens d'Artillerie diesen MARIN aus Lisieux als Verfertiger solcher Windbüchsen nannte.

bohrte[1]. In den neueren Zeiten werden sie viel und auf verschiedene Weise verfertigt, doch ist die Menge derselben verhältnifsmäfsig nicht grofs, weil sie an den meisten Orten polizeilich verboten sind und hinsichtlich ihrer Behandlung, ihrer Bequemlichkeit und ihres Effectes den Feuergewehren weit nachstehn. Die mir, und zwar aus eigener Anschauung, bekannt gewordenen wesentlichsten Constructionen derselben sind folgende drei, deren Unterschied nur auf der Anbringung des Behälters für die comprimirte Luft beruht.

Für die schlechteste Art halte ich diejenigen, die aus zwei in einander steckenden Läufen bestehen, in deren Zwischenraume die Luft comprimirt wird. Sollen diese Läufe eine für den Luftdruck genügende Stärke der Wandungen haben, so werden sie zu schwer, auch ist es nicht ohne Schwierigkeiten, so ausgedehnte Flächen völlig luftdicht herzustellen. Die Läufe sind meistens der gröfseren Eleganz wegen von Messing, wie diejenige, die ich untersucht, aber der Gefahr wegen nie stark geladen habe.

Nach einer zweiten, weit vorzüglichern Construction haben die Windbüchsen ganz die Gestalt einer gewöhnlichen leichten Jagdflinte; vor dem Bügel aber, unter welchem sich der Drükker befindet, ist eine Kugel von 3 bis 4 Zoll Durchmesser angeschraubt, welche die comprimirte Luft enthält. Diese Kugel läfst sich abschrauben; auch kann man die Einrichtung treffen, sie abzuschrauben und in der Tasche mit sich zu tragen, wenn man die Waffe auf der Jagd gebrauchen und die Entstellung der gefälligen Form, welche durch die angeschraubte Kugel nothwendig verursacht wird, vermeiden will[2].

Bei weitem am vorzüglichsten sind die sogenannten tyroler Windbüchsen, wie sie namentlich in jenem Gebirgslande während des französischen Krieges häufig gebraucht wurden, was übrigens von Seiten Napoleon's die Erklärung veranlafste, dafs diese Waffen gegen den völkerrechtlichen Gebrauch seyen. Sie unterscheiden sich dadurch, dafs der Kolben den Luftbehälter

---

1 Kundmanni Rariora naturae et artis. Sect. II. art. 40. Nach Musschenbroek a. a. O.

2 Die Vorrichtung, die Luft in anzuschraubenden Kugeln zu comprimiren, ist nach Macbride Experim. Essays p. 81 eine Erfindung des Dr. Ellis.

bildet. Die ächten Windbüchsen dieser Art sind mit zwei Kolben versehn, deren eine angeschraubt ist, die andere aber als Reserve dient, um sie an die Stelle der ersteren zu setzen, wenn diese nicht mehr genügend comprimirte Luft enthält. Die gewöhnlichen Windbüchsen haben Flintenläufe und dienen sowohl für Schrot, als auch für Kugeln, die letztgenannten sind aber eigentliche Kugelbüchsen mit gezogenen Läufen. Aufserdem haben sie ein Magazin mit 12 Kugeln denn die Luftbehälter können so viel comprimirte Luft enthalten, dafs sie für diese Zahl von Schüssen ausreicht. Dieses Magazin besteht aus Fig. 203.
einer Röhre von dünnem Weifsblech g h, die neben dem Laufe, diesem parallel, angebracht ist. Durch den Lauf A B ist dann genau schliefsend, aber verschiebbar, das eiserne Parallelepipedum m n gesteckt, welches durch den Druck der starken Feder r q in der durch die Zeichnung angegebenen Lage erhalten wird und in dessen Vertiefung die Kugel α liegt. Sobald man diese abgeschossen hat, gleichzeitig mit dem Aufziehn des Hahns, drückt man mit dem Daumen gegen das Ende m des Schiebers und bringt dadurch die Oeffnung unter die untere Mündung der Röhre; die Kugel β fällt durch ihr Gewicht in die Vertiefung, die Feder treibt den Schieber zurück und die Büchse ist wieder geladen[1]. Man sieht, dafs bei der Schnelligkeit, womit sich dieses bewerkstelligen läfst, diese Waffe unter geeigneten Umständen sehr gefährlich werden kann. Es giebt aufserdem noch eine dieser ähnliche, mehr als Spielerei zu benutzende Construction der Windbüchsen, wonach sie aus einem dünnen, als Spazierstock eingerichteten Laufe, oben mit einem kleinen Hahn und Drücker, bestehn, dessen Krücke als Luftbehälter dient.

Das Laden der verschiedenen Luftbehälter geschieht mittelst einer einfachen Compressionspumpe, die meistens aus einem eisernen Stiefel mit einem langen, genau schliefsenden Embolus an einer eisernen Stange besteht. In der Regel sind bei diesen oben zwei Arme angebracht, um leichter zu com-

---

1 Diese Construction des Magazins scheint mir die einfachste und zweckmäfsigste zu seyn. Als Erfinder der Vorrichtung, ein Magazin anzubringen, wird ein Künstler Namens Kolbe genannt. S. Rees Cyclopaedia. Art. *Air-gun.* Die Angabe ist entnommen aus Desaguliers Cours de Physique. T. II. Leç. XI. p. 451.

primiren, durch ein Oehr unten an der Kolbenstange ist aber ein Querbalken gesteckt oder auf ihr festgenietet, um mit den Füſsen auf dessen beide Enden zu treten und somit den Embolus bequemer zurückzuziehn.

Alle verschieden eingerichtete Luftbehälter werden durch ein Kegelventil genau verschlossen. Dieses besteht aus einem metallenen abgekürzten Kegel, mit dünnem Leder überzogen, den man beim Verfertigen gleich anfangs so fest in die konische Höhlung einpreſst, daſs er stets vollkommen luftdicht schlieſst und durchaus keine Luft neben sich entweichen läſst. Ist der
Fig. 206. Behälter nicht gefüllt, so drückt ihn die in der Zeichnung sichtbare Spiralfeder s s an, beim fortgesetzten Laden wird er durch die comprimirte Luft mit stets wachsender Gewalt so fest in seine Höhlung gepreſst, daſs kein Entweichen der Luft möglich ist. Zum Oeffnen desselben beim Losschieſsen dient der in der Zeichnung sichtbare stählerne Stift α, α, welcher im Zustande der Ruhe die obere Fläche des Kegels lose berührt und mit seinem anderen Ende an dem in einer Nuth verschiebbaren Stücke Eisen m n festsitzt. Ist der durch eine sehr starke Feder gespannte Hahn zurückgezogen, so kommt dadurch die Spitze des über diesem Stücke in der Zeichnung sichtbaren, sehr massiven stählernen Vorsprunges k vor das Ende des verschiebbaren Stückes, schlägt beim Abschnappen des Hahns mit groſser Gewalt gegen dieses und öffnet dadurch das Ventil[1]. Inzwischen drückt dieser Schieber augenblicklich die unter ihm liegende Feder r etwas nieder, der Vorsprung k gleitet über dem Ende desselben wieder in seine anfängliche Lage zurück, und die stark comprimirte Luft des Behälters treibt nicht bloſs das Ventil, sondern mit diesem zugleich den Stift und seinen Schieber mit groſser Gewalt zurück, so daſs nur der zum Fortschleudern der Kugel erforderliche Antheil von Luft entweicht.

1 Bei der Betrachtung der Windbüchsen wird man überrascht durch die Wahrnehmung, daſs dieser dünne, kaum 0,75 Lin. im Durchmesser haltende Stift das Ventil aufzuschlagen vermag, was kaum einem ziemlich energischen Schlage mit einem mäſsig schweren Hammer weicht. Es ist dieses als die Wirkung des bei raschem Abdrücken des Hahns sehr schnellen Stoſses zu betrachten. Mit dieser Waffe durch lange Erfahrung Vertraute haben mich versichert, ein guter Hahn schlage das Ventil stets auf, wie stark auch die Verdichtung seyn möge.

Da die Wirksamkeit der Windbüchsen von dem Grade der Luftverdichtung abhängt, so ist die nächste Frage, wie und bis zu welcher Grenze diese zu erreichen steht. Wäre das *Mariotte'sche* (richtiger *Boyle'sche*) *Gesetz* in seiner ganzen Ausdehnung gültig, so hätte die Compression, und somit die Wirksamkeit, dieses Geschosses keine Grenze; da aber dieses nicht der Fall ist, so fragt sich nur, bis wie weit man die Verdichtung in der Wirklichkeit zu treiben vermag. Nehmen wir, um einen vorläufigen Anhaltpunct zu haben, die Elasticität des bei der Explosion glühenden Schiefspulvergases im Maximum zu 2000 Atmosphären an, so unterliegt es keinem Zweifel, dafs man Behälter zu verfertigen im Stande sey, welche selbst diesen Druck auszuhalten vermögen; in der Wirklichkeit wird man es aber nie bis dahin, wohl selten nur bis zur 100- oder 200fachen Verdichtung bringen. Aber auch schon diese erfordert sehr feste Wandungen der Behälter, und es ist eine unverantwortliche, man darf wohl sagen polizeilich strafbare Nachlässigkeit, wenn Künstler nicht für hinlängliche Stärke solcher Behälter sorgen. Nehmen wir in hier allein zulässigen genäherten Werthen, die inzwischen wenigstens einigen Anhalt gewähren, den inneren Durchmesser eines gegebenen Behälters zu 3 Zoll oder ungefähr so an, dafs ein ausgeschnittener, 1 Zoll breiter Streifen 9 Zoll Länge haben würde, und setzen wir den Druck der Luft gegen 1 Quadratzoll = 15 ℔., so würde der Gesammtdruck einer Atmosphäre gegen einen solchen Streifen 9.15 = 135 ℔. und von 100 Atmosphären 13500 ℔. betragen. Nehmen wir die Cohäsionskraft des getriebenen Kupfers, um ganze Zahlen zu erhalten, zu 40500 ℔. für ein Parallelepipedum von 1 Quadratzoll Durchschnittsfläche an[1], so würde dieser Druck eine Metallstärke von $\frac{40500}{13500} = 3$, also von $\frac{1}{3}$ Zoll oder 4 Linien, für 200 Atmosphären 8 Linien und für 300 Atmosphären 1 Zoll erfordern. Da den Erfahrungen nach die Gefäfse beim Drucke des Wassers, und hiernach auch der Luft, eine stärkere Cohäsionskraft zeigen, als auf die angegebene Weise gefunden wird[2], so läfst sich immerhin annehmen, dafs 4 Lin. Metalldicke bei Kupfer und

1 Vergl. Art. *Cohäsion*. Bd. II. S. 146.

2 Vergl. Art. *Röhre*. Bd. VII. S. 1408.

2 Lin. bei gutem Schmiedeeisen für 100 Atmosphären genügen. Eine von mir untersuchte sehr schöne kupferne Kugel hatte nur 2,5 Zoll inneren Durchmesser, fast 4 Lin. Metalldicke, in der Mitte aber, wo beide Halbkugeln zuerst zusammengeschraubt und dann hart gelöthet waren, betrug die Metallstärke gegen einen Zoll; die Kolben der tyroler Windbüchsen haben am dickeren Ende etwa 2 Zoll, am dünneren 1,5 Zoll Durchmesser, gegen 3 Linien Metalldicke, die Ränder der zusammengebogenen Eisenplatte aber sind über einander gelegt, erst genietet und dann durch Schlagloth verbunden.

Um diese Haltbarkeit mit dem Grade der Verdichtung zu vergleichen, möge Folgendes dienen. Der Druck der atmosphärischen Luft gegen 1 Quadratzoll beträgt im mittleren genäherten Werthe 15 ℔. Wäre also die untere Fläche des Embolus von der Gröfse eines Quadratzolles, so würde die Compression der Luft zum Doppelten, mithin, da stets 1 Atmosphäre für den gleichen inneren und äufseren atmosphärischen Druck abgeht, für eine Atmosphäre 15 ℔. betragen, ohne die zur Ueberwindung der Reibung und zum Aufstofsen des Ventils erforderliche Kraft in Anschlag zu bringen. Für 10 Atmosphären würden also schon 150 ℔. erforderlich seyn, und ein Mann könnte dieses selbst dann nicht erreichen, wenn er auch mit seinem ganzen Gewichte auf den Kolben drücken wollte. Wir wollen statt dieser Gröfse der Kolbenfläche, die man nicht leicht für Compressionspumpen überhaupt, geschweige denn für solche wählen wird, die zum Laden der Windbüchse bestimmt sind, ein anderes Maximum annehmen, bis zu welchem man wohl zu gehn pflegt, und die Fläche des Embolus auf $\frac{1}{3}$ Zoll herabsetzen, in welchem Falle der Druck einer Atmosphäre 5 ℔. und von 10 Atmosphären 50 ℔., also eine Gröfse beträgt, welche ein starker Mann füglich durch gewöhnliches Drücken erreichen könnte, allein er würde es auch dann auf keine Weise zu 100facher, ja selbst nicht zu 50facher Verdichtung bringen, wovon jene 500, diese also 250 ℔. erforderte. Die kleinsten Flächen der Kolben betragen wohl nie weniger, als $\frac{1}{6}$ Quadratzoll, wodurch jene Gröfsen auf 250 und 125 ℔. herabgehn, die aber gleichfalls, vorzüglich mit Rücksicht auf Reibung und Adhäsion des Ventils vermittelst blofsen Druckes, auch durch den stärksten Mann nicht erreichbar sind[1]. Allein auf diese

1 Beiläufig möge bemerkt werden, dafs für $\frac{1}{3}$ Quadratzoll Fläche

Weise, durch gewöhnlichen, wohl gar langsamen Druck werden die Behälter niemals geladen, vielmehr stöfst man den Embolus schnell im Stiefel nieder, und kann vermittelst solcher schneller Stöfse eine ganz unglaubliche Verdichtung hervorbringen, ja ein nicht eben starker, aber geübter und mit dem erforderlichen Kunstgriffe vertrauter Mann vermag dann eine stärkere Compression zu erreichen, als ein Athlet von herculischer Stärke. Ich selbst habe in jüngeren Jahren nie die Verdichtung bis zu der Grenze getrieben, dafs es mir unmöglich geworden wäre, sie noch weiter fortzusetzen, und ein mit der Sache sehr vertrauter Jagdliebhaber versicherte mich, er wollte sich anheischig machen, jeden ihm gegebenen Luftbehälter ohne einen anderweitigen Mechanismus zu zersprengen, wenn dieses ohne Lebensgefahr geschehn könnte. Man hat auch Vorrichtungen, um mittelst eines Hebels die Compression zu bewerkstelligen; ich habe indefs eine solche nie gesehn, halte sie auch für schwierig, weil man damit nicht so bequem stofsen kann und die Luft bei langsamerem Drucke leicht neben dem Kolben entweicht. Inzwischen geht hieraus so viel hervor, dafs im Ganzen die gut gemachten Behälter stark genug sind, um derjenigen Compression zu widerstehn, welche ein Mensch ohne künstliche Vorrichtungen erreichen kann; allein die Gefahr droht von einer andern Seite. Wie das *Tachopyrion*[1] zeigt, wird Wärme bis zur Entzündung durch starke, und namentlich schnelle, Compression der Luft erzeugt, und es ist daher leicht möglich, dafs das durch anhaltende Stöfse der Pumpe ohnehin erhitzte Oel im Behälter sich entzündet, in welchem Falle jeder, auch der allerstärkste, nothwendig zersprengt werden mufs. Die Vorsicht erfordert daher, mindestens in Absätzen, etwa von 25 bis 50 Kolbenstöfsen, zu laden, um eine zu starke Erhitzung zu vermeiden[2].

---

des Kolbens der Halbmesser desselben 3,9 und für $\frac{1}{6}$ nicht völlig 2,8 Lin. beträgt.

1 Vergl. Art. *Wärme*. Bd. X. S. 229.

2 Behutsamkeit ist allezeit anzuwenden. Ich erinnere mich, dafs am Ende des vorigen Jahrhunderts einem Officiere zu Cassel durch Zersprengen eines Behälters die sämmtlichen unteren Rippen zerrissen wurden, und ein Mechaniker, welcher Windbüchsen verfertigte, hatte vor einigen Jahren ein ähnliches Schicksal; beide starben sehr bald an den Folgen der schrecklichen Verwundung.

Ohne eine auf genaue Gröſsenbestimmungen gegründete Vergleichung der Windbüchsen mit Schieſspulvergewehren anzustellen, geht vorläufig so viel aus dem Gesagten hervor, daſs jene den letzteren allerdings nachstehn. Inzwischen folgt hieraus keineswegs, daſs sie, wie Nollet[1] meint, als eine bloſse Spielerei zu betrachten sind, weil sie weder die Bequemlichkeit, noch die Sicherheit und Dauerhaftigkeit gewöhnlicher Gewehre haben, nicht zu gedenken, daſs sie wegen des fehlenden Knalles als gefährliche Waffen zu bösen Zwecken dienen können. In dieser letzteren Beziehung bemerkt Gehler[2] richtig, daſs dieses nur ein Miſsbrauch sey, weswegen das polizeiliche Verbieten derselben sehr wohl zu rechtfertigen ist, daſs sie aber zum Vertilgen schädlicher Thiere an solchen Orten, wo man vom Pulvergeschütze Feuersgefahr fürchtet, vortheilhaft gebraucht werden können. Das Laden der Luftbehälter ist allerdings eine mühsame und groſse Anstrengung erfordernde Operation, wozu die Besitzer derselben, die wegen ihres nicht geringen Preises in der Regel zu den höheren und gebildetern Classen gehören werden, einen starken, mit dieser Operation vertrauten und geübten Arbeiter anwenden müssen. Dieser Aufwand wird durch die Ersparung des Schieſspulvers und des Reinigens der Pulvergewehre wohl ungefähr ersetzt, und auſserdem ist das Schieſspulver, auch wenn es sich nicht im Gewehre befindet, immerhin eine Gefahr drohende Substanz. Wollte man aber die Wirkungen der Windbüchsen zu sehr herabsetzen und sie in dieser Beziehung für eine bloſse Spielerei halten, so streitet dieses gegen die Erfahrung. Ich selbst habe sicher nicht das Maximum der Effecte erreicht, deren sie fähig sind, dennoch trieben die von mir geladenen Windbüchsen Bleikugeln in einer Entfernung von 120 Fuſs durch ein 0,75 Zoll dickes tannenes Bret, die dann gegen eine noch 5 Fuſs weiter abstehende steinerne Mauer um $\frac{1}{3}$ ihrer Dicke platt geschlagen wurden, und in den Händen der tyroler Schützen wurden die Windbüchsen bekanntlich zu einer sehr gefährlichen Waffe[3]. Es wäre daher allerdings eine interessante Auf-

---

1 Leçons de Physique expér. T. III. Leç. X. Sect. I. Chap. 7.

2 Wörterbuch. A. A. Bd. IV. S. 771.

3 Die Angaben von Wolff in Voigt's Magazin Th. IV. S. 827 und G. XII. 611 stimmen hiermit überein. Die Kugel drang bei seiner

gabe, das Verhältnifs ihrer Wirkungen zum Grade der Compression empirisch zu ermitteln, was vielleicht aunähernd geschehn könnte, wenn man nach der von Oersted zur Prüfung des Mariotte'schen Gesetzes angewandten Methode die leeren und dann die mit comprimirter Luft gefüllten Behälter wöge. Mir ist nur ein Versuch bekannt, wobei diese Methode angewandt wurde, welcher übrigens zu einem höchst merkwürdigen Resultate führt. Der durch seine Mafsbestimmungen und sonstigen physikalischen Forschungen bekannte M. F. Wild[1] lud den Kolben einer guten Windbüchse so lange, bis sich das Ventil nicht mehr öffnen wollte, und legte ihn dann in Wasser, um von seinem festen Schliefsen überzeugt zu seyn. Die Menge der durch eine gleiche Anzahl von Stöfsen eingeprefsten Luft nahm stets mehr ab, was aus dem Entweichen eines Antheils neben dem Embolus und aus der gröfseren Dichtigkeit des zwischen der unteren Fläche des Embolus und dem Ventile zurückbleibenden Theiles sich leicht erklären läfst. Die Vermehrung des Gewichts des Kolbens betrug

nach den ersten 100 Kolbenstöfsen	...	132	Gran,
— — zweiten — —	...	96	—
— — dritten — —	...	46	—
— — vierten — —	...	38	—
im Ganzen durch 400 Kolbenstöfse	...	312	—

Nach dem gemessenen Inhalte des Kolbens und Lavoisier's[2] Bestimmung des Gewichts der atmosphärischen Luft betrug die Verdichtung ungefähr 36 Atmosphären. Dennoch drang die aus dem 34 Zoll langen Laufe geschossene, 4,5 Lin. im Durchmesser haltende Kugel beim fünften Schusse auf 228 Fufs Entfernung noch 0,75 Zoll tief in ein tannenes Bret, beim zweiten und vierten schlug sie auf 120 Fufs Entfernung durch ein zölliges tannenes Bret.

---

mit einem Hebelwerk geladenen Windbüchse bei 1 Fufs Entfernung 2,5 Zoll tief in einen eichenen Balken und bei 200 Schritt Entfernung durch das kupferne Zifferblatt am Kirchthurme; er warnt aber gleichfalls vor der grofsen Gefahr beim Zersprengen der Behälter.

1 Gotha'sches Magazin. Th. VIII. St. 4. S. 59.

2 Traité de Chimie. T. II. p. 572.

Bei der Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit, welche eine durch comprimirte Luft fortbewegte Bleikugel erhält, folgt man meistens der hierüber von Karsten[1] aufgestellten Berechnung, welcher hierbei selbst die Untersuchungen des Johann Bernoulli[2] zum Grunde legte. Inzwischen ist die mit verschiedenen anderen Problemen verbundene Aufgabe von ihm sehr weitläuftig behandelt worden, und da sich dennoch bei den vielen zu berücksichtigenden Bedingungen, die keiner speciellen Angabe bedürfen, auf absolute Schärfe nicht rechnen läfst, so theile ich lieber die einfachere Methode mit, mittelst deren L. Euler[3] zu dem nämlichen Endresultate gelangt, welches Karsten gefunden hat.

Da die Formel für alle Arten von Wurfgeschützen, die durch irgend eine expansible Flüssigkeit wirken, aufgestellt
Fig. 207. ist, so sey allgemein die Länge des Laufes $AB = a$; der Raum, welchen die comprimirte Gasart einnimmt, $AF = b$; der Durchmesser der fortzuschleudernden Kugel, welche, theilnehmend an der Bewegung der sich ausdehnenden und daher strömenden Flüssigkeit, als ein Theil der sich bewegenden Masse zu betrachten ist, $= c$; die Masse dieser Kugel sey n mal specifisch dichter, als das Wasser, und die Elasticität des comprimirten Gases sey m mal gröfser, als die der atmosphärischen Luft. Man nehme dann an, dafs die Kugel durch das elastische Fluidum um irgend einen Raum, es sey dieser $FM = x$, fortgetrieben worden sey, und suche die Höhe $= h$, von welcher herabfallend sie eine dieser gegebenen gleiche Geschwindigkeit erhalten würde. Da die expansible Flüssigkeit sich in den zunehmenden Räumen stets weiter ausbreitet, so müssen ihre impulsiven Kräfte sich wie die Logarithmen dieser Räume verhalten. Diesemnach verhält sich der Druck der elastischen Flüssigkeit in M zu dem in F wie $AF : AM$ oder wie $b : b + x$; es wird sich also der Druck in M zum atmosphärischen Drucke wie $\frac{mb}{b+x} : 1$ verhalten, und weil der Druck einer Atmosphäre einer Wassersäule von 32 Fufs äquivalent ist, so wird die

1 Lehrbegriff der gesammten Mathematik. Th. VI. Greifsw. 1771. S. 572.

2 Opera. T. III. p. 81.

3 Neue Grundsätze der Artillerie von Robins. Berlin 1745. S. 122.

Kugel von dem Gewichte einer Wassersäule $= \frac{32\,mb}{b+x}$ Fuſs fortgetrieben werden. Bestände die Kugel vom Durchmesser $= c$ aus Wasser, so würde sie einem Wassercylinder von $\frac{2}{3}c$ gleich seyn, und wenn ihr specifisches Gewicht $= n$ gegen Wasser als Einheit ist, so gleicht sie einer Wassersäule $= \frac{2}{3}nc$. Diesemnach verhält sich die forttreibende Kraft der Flüssigkeit zum Gewichte der Kugel wie $\frac{32\,mb}{b+x} : \frac{2}{3}nc$ oder wie $\frac{48\,mb}{nc\,(b+x)} : 1$. Den mechanischen Gesetzen nach erhält man aber für die Höhe h dieser Wassersäule:

$$\partial h = \frac{48\,mb}{nc\,(b+x)}\,\partial x,$$

und da h mit x zugleich verschwindet, so ist hiervon das Integral:

$$h = \frac{48\,mb}{nc}\ \text{Log. nat.}\ \frac{b+x}{b}.$$

Nimmt man aber x bis ans Ende des Laufes $= FB$, und also $b+x = AB = a$, so giebt dieses

$$h = \frac{48\,mb}{nc}\ \text{Log. nat.}\ \frac{a}{b}$$

und durch Reduction auf gemeine Logarithmen

$$h = \frac{48\,mb}{nc} \times 2{,}302585\ \text{Log. tab.}\ \frac{a}{b}$$

$$= \frac{110{,}52408\,mb}{nc}\ \text{Log.}\ \frac{a}{b}$$

in rheinländischem Fuſsmaſs. Euler nimmt statt dessen Tausendstel eines rheinländischen Fuſses, und findet demnach die Höhe, von welcher eine solche Kugel in Tausendsteln eines Fuſses herabgefallen seyn müſste,

$$h = \frac{110524{,}08\,mb}{nc}\ \text{Log.}\ \frac{a}{b}.$$

Die dieser Höhe zugehörige Geschwindigkeit v in einer Secunde ist

$$v = 250\sqrt{\frac{110524{,}08\,mb}{nc}\ \text{Log.}\ \frac{a}{b}}$$

und, wieder auf ganze Fuſs reducirt,

$$v = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{110524{,}08\,mb}{nc}\,\text{Log.}\,\frac{a}{b}} = \sqrt{\frac{6907{,}75\,mb}{nc}\,\text{Log.}\,\frac{a}{b}}.$$

Hierin ist $m = 1000$, wenn der ganze Raum AF mit Pulver erfüllt ist, welches sich in den tausendfachen Raum ausdehnt, oder bei Windbüchsen mit tausendfach comprimirter Luft. Ist dagegen nur ein Raum $= f$ damit angefüllt, so wird $m = \frac{1000\,f}{b}$ und

$$v = \sqrt{\frac{6907750\,f}{nc}\,\text{Log.}\,\frac{a}{b}}.$$

Hiernach verhält sich also das Quadrat der Geschwindigkeit, womit die Kugel sich anfangs bewegt, direct wie der Logarithmus des Verhältnisses $\frac{a}{b}$ oder $\frac{AB}{AF}$, d. i. der ganzen Länge des Laufes zu dem mit dem elastischen Fluidum angefüllten Raume; zugleich aber verhalten sich die Geschwindigkeiten, wie die Quadratwurzeln der Compressionen oder der Dichtigkeiten der explodirenden Gase.

Zur Anwendung dieser Formel wählt Euler ein Beispiel aus den durch Robins angestellten Versuchen. Hierbei war $a = 45$ Zoll; $f = b = 2\frac{5}{8}$ Zoll; $c = \frac{3}{4}$ Zoll und $n = 11{,}345$ für die Bleikugel. Es wird dann $\frac{a}{b} = \frac{120}{7}$; $\text{Log.}\,\frac{a}{b} = 1{,}2340832$; $\frac{f}{c} = \frac{7}{2}$; $\frac{f}{nc} = \frac{7}{22{,}69}$; $\text{Log.}\,\frac{7}{22{,}69} = 0{,}4892653 - 1$. Dieses berechnet giebt $\text{Log.}\,v = 3{,}2099724$, also die Anfangsgeschwindigkeit $v = 1625$ Fuſs. Wäre statt dessen die Compression nur die 100fache, so gäbe dieses

$$v = 1625\sqrt{\frac{100}{1000}} = 1625\sqrt{\frac{1}{10}} = 514 \text{ Fuſs}$$

als Anfangsgeschwindigkeit der Windbüchsenkugel. Karsten[1] setzt die Länge des Laufes $a = 48$ Zoll, den Raum der Ladung $b = 2$ Zoll, also $\frac{a}{b} = 24$, dessen Logarithmus $= 1{,}3802112$, mit dem Modulus der natürlichen Logarithmen $= 2{,}302585$ multiplicirt, den Log. vulg. $= 3{,}178053$ giebt. Ferner nimmt

---

1 A. a. O. S. 571.

er den Durchmesser der Kugel $= \frac{3}{8}$ Zoll, das Wasser 800mal schwerer, als Luft, das Blei 11,325mal schwerer als Wasser an, und findet dann für $m = 100$, also eine hundertfache Verdichtung,

$$h = \frac{27267695}{3847} = 7088 \text{ Par. Fufs.}$$

Ist dann g (nach der älteren Bezeichnung) = 15,1 Par. Fufs, so wird

$$v = 2\sqrt{gh} = 2\sqrt{15{,}1 \times 7088} = 654 \text{ Par. Fufs.}$$

G. G. Schmidt[1] findet aus seinen Untersuchungen über die Ausströmungsgeschwindigkeiten der atmosphärischen Luft die Anfangsgeschwindigkeit der Luft für sich = 863 Fufs in 1 Sec. und meint, hiervon müsse beim Vorhandenseyn einer fortzuschleudernden Bleikugel $\frac{3}{4}$ genommen werden, was dann die Anfangsgeschwindigkeit = 647 Par. Fufs geben würde. Die Forderung, von der gefundenen Gröfse nur 0,75 zu nehmen, wenn eine Bleikugel fortgeschleudert werden soll, ist wohl etwas zu willkürlich.

Die verschiedenen, hier gefundenen Gröfsen kommen einander zwar ziemlich nahe, allein man gewahrt sehr bald, dafs in der Bestimmung der zur Formel gehörigen Gröfsen viele Ungewifsheit herrscht. Namentlich ist bei den Windbüchsen das Verhältnifs a : b noch schwieriger, als bei Pulvergeschossen bestimmbar. Wollten wir annehmen, die aus dem Behälter strömende comprimirte Luft träfe die Kugel unmittelbar bei ihrem Austritte und käme an die Stelle der fortrückenden Kugel, so würde bei einer 48mal gröfseren Länge des Laufes, als der Durchmesser der Kugel beträgt, $b = \frac{2}{3}$ und $a = 48$, also $a : b = 48 : \frac{2}{3} = 72$, und Log. vulg. $\frac{a}{b} = 4{,}1599175$ werden, was von dem durch Euler und Karsten Gefundenen bedeutend abweicht. Indessen findet dieses in der Wirklichkeit nicht statt, vielmehr ist hinter der Kugel ein Raum vorhanden, in welchen beim Oeffnen des Ventils die verdichtete Luft strömt, allein dieser müfste bei jeder individuellen Windbüchse erst gemessen werden. Zugleich kommt es darauf an, wie grofs die

1 Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. Giefsen 1826. S. 223. Vergl. Art. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 601.

Menge der ausströmenden Luft im Verhältniſs zur Länge und Weite des Laufes ist. Drückte z. B. die Luft mit gleichbleibender Elasticität so lange gegen die Kugel, bis diese aus der Mündung herausfährt, was an sich unmöglich ist, so würde die Geschwindigkeit ungleich gröſser seyn. Dieses zeigt sich auffallend beim *Blasrohre*, einem etwa 6 Fuſs langen hölzernen hohlen Cylinder, dessen Dicke ungefähr 1,25 Par. Zoll und die Weite der Höhlung etwa 3 Linien beträgt. In diese werden am einen Ende Thonkugeln oder kleine Pfeile aus etwas zusammengeballetem Zeuge mit einer durchgesteckten eisernen Spitze gelegt und durch Blasen mit dem Munde bis zu unglaublicher Weite fortgetrieben. Es ist unmöglich, die Luft mit dem Munde bis zum Doppelten ihrer Dichtigkeit zusammenzupressen; aber angenommen, dieses würde wirklich erreicht, so betrüge die Anfangsgeschwindigkeit nach Euler's Formel $1625\sqrt{\frac{2}{1000}} = 72{,}6$ Fuſs, ohne Reibung und Widerstand der Luft zu rechnen. Die Geschwindigkeit der geschossenen Thonkugeln beim Ausfahren aus der Mündung des Rohres ist indeſs ungleich gröſser, denn sonst müſsten sie, wenn sie sich durch 72,6 Fuſs mit gleichbleibender Geschwindigkeit in 1 Secunde bewegten, während dieser Zeit zugleich 15 Fuſs lothrecht herabsinken, was keineswegs der Fall ist und das Instrument unbrauchbar machen würde. Die Wirkung des Blasrohrs beruht also offenbar darauf, daſs die zuströmende groſse Menge von Luft die schon bewegte Kugel durch stets neuen Impuls in gröſsere Geschwindigkeit versetzt.

Zur genauen Bestimmung der Geschwindigkeit, mit welcher die Windbüchsenkugeln aus der Oeffnung des Laufes fliegen, müſste zugleich der Widerstand der Luft im Laufe und die Reibung derselben an den inneren Wandungen des Laufes ermittelt werden, wozu die erforderlichen Gröſsen nicht wohl aufzufinden sind. Ist dann weiter von den Wirkungen dieser Geschütze die Rede, so würde bei ihnen, wie bei allen andern, auch der *Widerstand* der Luft während der ganzen Dauer ihrer Bewegung zur Untersuchung kommen. Wie schwer bestimmbar dieser sey, ist oben in einem eigenen Artikel gezeigt worden. Karsten[1] hat indeſs nicht bloſs die Geschwindigkeit der Wind-

1 A. a. Orte. S. 573 ff.

büchsenkugeln mit Rücksicht auf den Gegendruck der Luft zu bestimmen gesucht, sondern behandelt auch noch andere, mit diesem Probleme zusammenhängende Aufgaben, z. B. aus der Länge des Laufes und der Dichtigkeit der comprimirten Luft aufzufinden, wie viel Raum diese anfangs einnehmen müsse, damit die Kugel die gröfste Anfangsgeschwindigkeit erhalte; ferner wie grofs bei denselben bekannten Gröfsen die Ventil-öffnung seyn müsse; endlich wenn diese Gröfsen und alle Dimensionen gegeben sind, wie viele Schüsse von noch genügendem Effecte geschehn können. Dieses alles mitzutheilen scheint mir unnöthig, und ich bemerke nur in Beziehung auf die letztere Aufgabe, dafs man von den beschriebenen tyroler Windbüchsen 12 Schüsse mit dem gehörigen Effecte erwartet, und dafs sie bei guter Construction und genügender Ladung beim 24sten Abdrücken noch auf 6 Fufs Entfernung eine Kerzenflamme ausblasen sollen.

Alle diejenigen, welche mit Windbüchsen vertraut sind, werden die Erfahrung gemacht haben, dafs ihre Wirkungen die Erwartung übertreffen, und dafs sie, mit Pulverwaffen verglichen, mehr zu leisten scheinen, als die Theorie angiebt, so weit als sich bei der Unsicherheit der Messungen hierüber etwas bestimmen läfst. Nach dem, was eben über das Laden der Behälter gesagt worden ist, läfst sich annehmen, dafs nicht wohl eine stärkere Verdichtung, als eine 100fache erreicht wird, und wenn dann die Expansion des Pulverdampfes nach Robins nur zu 1000, nach dem sogleich folgenden Resultate der chemischen Analyse zu 1480, nach Hutton aber zu 2000 Atmosphären angenommen wird, so begreift man nicht wohl, warum die Windbüchsen in ihren Wirkungen nicht mehr hinter den Feuerwaffen zurückbleiben, wenn wir die hierbei allein möglichen Schätzungen einmal als hinreichend genähert betrachten. Hutton[1], welcher ohne Zweifel aus Erfahrung entscheidet, sagt ausdrücklich, dafs die Windbüchsen mehr leisten, als die Theorie angiebt, und er leitet dieses daraus ab, dafs der Luftbehälter in der Regel sehr grofs im Verhältnifs zum Laufe ist, weswegen die Dichtigkeit der sich expandirenden Luft nur wenig geringer wird und somit die Kugel bis an die Mündung mit wenig verringerter Kraft vorwärts treibt, statt dafs

1 Dictionary. Art. *Air-gun*. T. I. p. 53.

das Schiefspulver einen sehr kleinen Raum einnimmt und sich daher im Laufe stark ausdehnt. Hiervon, meint er sogar, komme es, dafs ein weites Gefäfs mit nur zehnfach comprimirter Luft eine dem Schiefspulver nahe kommende Wirkung erzeuge. Ist gleich Letzteres nicht der Fall und übertrieben, so bin ich dennoch von der verhältnifsmäfsig sehr grofsen Kraft der Windbüchsen vollkommen überzeugt, leite diese aber aus folgenden Gründen her. Die grofse und alle Bande der Cohäsion überwindende Kraft des entzündeten Schiefspulvers ist keinem Zweifel unterworfen, allein sie ist hauptsächliche Folge der Glühhitze bei der Explosion. Diejenigen Bestimmungen der Elasticität des Pulvergases, welche Rumford aus dem Zerreifsen stählerner Cylinder abgeleitet hat, beruhn auf allzu unsichern Voraussetzungen, als dafs man ihnen unbedingt beitreten könnte; weit besser sind diejenigen, die aus der chemischen Analyse desselben gefunden werden. Nach L. Gmelin[1] giebt 1 Mafs Schiefspulver 296 Mafs Gas bei 0° C. Temperatur und 0,76 Meter Barometerhöhe, was mit verschiedenen, auch mit den von mir angestellten Versuchen sehr nahe übereinstimmt. Hierzu kommt das durch die Glühhitze in Gas verwandelte Schwefelkalium mit 74 Mafs, so dafs die Gesammtmasse des entstandenen Gases 370mal gröfser ist, als die Masse des Schiefspulvers. Wird dieses durch eine Temperatur von 800° C. in den 4fachen Raum ausgedehnt, so beträgt seine Elasticität allerdings 1480 Atmosphären, eine Gröfse, die mit der Erfahrung übereinstimmt und durch kein anderes Medium nur annähernd erreicht wird; allein eben hierin liegen auch die Bedingungen der verhältnifsmäfsig geringeren Wirksamkeit desselben in Vergleichung mit comprimirter Luft. Zuerst nimmt das Schiefspulver einen kleineren Raum ein, als die comprimirte Luft, mufs sich daher stärker ausdehnen, bis die Kugel aus der Mündung herausfährt; seine Wirkung ist im Anfange, wenn die Kugel in Folge der Trägheit den gröfsten Widerstand leistet, am stärksten, und wird in den folgenden Abschnitten des Laufes schwächer. Hierzu kommt dann zweitens, dafs das erhitzte Gas sich sehr schnell durch den Einflufs der metallenen Wandungen des Laufes abkühlt, wodurch das Schwefelkalium seine Expansion verliert und die in eine schmierige

---

1 S. Art. *Schiefspulver*. Bd. VIII. S. 525.

Masse verwandelten Gase die Läufe beschmuzen. Hiermit hängt die heftige Explosion zusammen, welche man beim Abschiefsen eines Feuergewehrs wahrnimmt, und zwar auch dann noch stärker als bei einer Windbüchse, wenn die Pulverladung wegen ihrer geringen Masse eine schwächere Wirkung erzeugt, als die Windbüchse. Dieser heftige Knall ist eine Folge des Eindringens der umgebenden Luft in den Raum, welchen die expandirten, durch Abkühlung wieder zusammenfallenden Gase einnahmen, und ist daher unter Voraussetzung gleicher Massen beim Schiefspulver minder heftig, als beim Knallgas und beim sogenannten Knallpulver. Allerdings ist die Kugel schon fortgeschleudert und hat zuweilen schon ihr Ziel erreicht, wenn die Explosion erfolgt, das eigentliche Zusammenfallen, die wiedereintretende Condensation der explodirenden Gase tritt also erst später ein; allein es ist doch wohl nicht zu verkennen, dafs aus diesen zusammenwirkenden Bedingungen diejenigen Hindernisse erwachsen, welche verursachen, dafs das Schiefspulver, obgleich absolut weit stärker als comprimirte Luft, dennoch nicht im Verhältnisse seiner anfänglichen Expansion die Kugeln so viel weiter treibt, als dieses aus dem Verhältnisse der anfänglichen Expansion des Pulvergases zu der der Luft theoretisch folgt.

Beim Abschiefsen der Windbüchsen wird häufig die Entwickelung eines mehr oder minder starken Lichtscheines wahrgenommen[1]. Da die Erscheinung keineswegs selten ist, so darf man kaum voraussetzen, dafs sie den älteren Besitzern dieses Werkzeugs entgangen seyn sollte, dennoch war aber Remer[2] im Jahre 1801 der Erste, welcher auf dieses Phänomen aufmerksam machte, ohne dafs er eine ältere Angabe hierüber aufzufinden vermochte. Inzwischen zeigte Joseph Weber[3], dafs er dasselbe schon früher[4] zur Sprache gebracht habe, und diese Notiz darf daher wohl als die älteste gelten, da sich seitdem keine ältere gefunden hat, wenn gleich von einer Entdeckung dieser, auf blofser Beobachtung beruhenden

---

1 Vergl. Art. *Licht*. Bd. VI. S. 268.

2 G. VIII. 337.

3 Ebendas. XI. 344.

4 Vollständige Lehre von den Gesetzen d. El. und von der Anwendung derselben. Landsh. 1792. 8. S. 5.

Sache keine Rede seyn kann. Durch Remer aufmerksam gemacht erklärt Wolff[1], daſs er das Phänomen häufig wahrgenommen habe, und es ist daher seit dieser Zeit unter dem Namen des *Windbüchsenlichtes* allgemein bekannt. Wird eine stark geladene Windbüchse, mit oder ohne Kugel, in einem sehr dunkeln Raume losgeschossen, so gewahrt man vor der Mündung einen über 0,5 Fuſs langen hellen Lichtschein, welcher augenblicklich wieder verschwindet und bei wiederholtem Abschieſsen zwar wiederkekrt, aber mit schnell abnehmender Intensität. Remer fand die Sache durch die Aussage mehrerer Beobachter bestätigt, die sich ausdrückten, ihre Windbüchsen gäben im Dunkeln Feuer, und ebendieses erfuhr Gilbert[2] durch v. Leyser, welcher das Nämliche behauptete, mit der Beschränkung, das Leuchten zeige sich bloſs bei Windbüchsen mit eisernen Läufen. Ungefähr um die nämliche Zeit meldete Pictet an Tilloch[3], der bekannte Mollet aus Lyon habe dem französischen Institute am 29. Dec. 1802 eine Nachricht von diesem Lichtscheine mitgetheilt, und setzte hinzu, das Phänomen sey nie vorher beobachtet worden. Nicolson[4] bemerkte dagegen, schon vor anderthalb Jahren habe ein gewisser Fletcher in London die Sache vor mehreren Zeugen erzählt.

Das Phänomen, wie hieraus hervorgeht, erregte im Anfange dieses Jahrhunderts die Aufmerksamkeit der Physiker; spätere bestätigende Zeugnisse beizubringen würde überflüssig seyn, frühere aufzufinden ist auch mir nicht gelungen, und es fragt sich daher nur, wie man die Sache zu erklären habe. Nach Remer erfolgt das Leuchten bloſs bei starker Ladung, und wenn eine Windbüchse etwa 20 Schüsse hält, so gewahrt man den Lichtschein nur bei den fünf oder sechs ersten mit stets abnehmender Stärke, indem sich zuletzt nur ein schwaches Lichtatom an der Mündung dem aufmerksamen Auge darbietet. Diese Thatsache bestätigen Wolff, Gilbert und mehrere Andere. Weber gab das Licht ohne Weiteres für ein elektrisches aus, und Wolff glaubte, die mit Oeldunst imprägnirte

1 Voigt's Magazin. Th. IV. S. 827. G. XII. 611.
2 Dessen Ann. VIII. 340. Anm.
3 Philos. Magaz. T. XIV. p. 363.
4 Philos. Journ. 1803. Apr. p. 280.

und dadurch leitende oder negativ elektrische Luft gebe durch Reiben an der positiven des Zimmers diesen elektrischen Lichtschein. Auch Remer glaubte Anfangs keine andere Ursache dieses Leuchtens als Elektricität annehmen zu können, allein er vermochte auch mit den feinsten Elektrometern, selbst mit Anwendung von Condensatoren, keine Spur vorhandener Elektricität aufzufinden, die doch, bei so starkem Leuchten, unmöglich schwach seyn könnte. In Gemäſsheit der damals noch minder zahlreichen Beobachtungen, wonach durch Zusammendrückung der Luft Wärme, durch Expansion derselben Kälte erzeugt wird, glaubt er auf einen Zusammenhang der Wärmeerscheinungen mit denen des Lichtes schlieſsen zu dürfen. Von Bedeutung ist hierbei die von de Parcieux[1] gemachte Entdeckung, wonach die sogenannten *Petarden* der Barometermacher, oder die sogenannten *Knallbomben* (hohle Kugeln von dünnem Glase, zwei bis drei Zoll im Durchmesser haltend, welche im Kohlenfeuer glühend gemacht und dann schnell zugeblasen werden, um möglichst verdünnte Luft zu enthalten) beim Zerspringen durch das Auffallen auf den Boden einen hellen Lichtschein geben, und auf gleiche Weise dünne, mit Luft gefüllte, im Guerike'schen Raume zerplatzende Glaskugeln. Die späteren Versuche von Helwig[2], wonach beim Zerspringen der Knallbomben nur dann ein Lichtschein sichtbar ist, wenn dieses in Räumen geschieht, in welche früher Tagslicht oder Sonnenlicht gefallen war, nicht aber in Kellern oder stets dunkeln Räumen, könnten Veranlassung geben zu schlieſsen, daſs diese Lichtentwickelung zur Phosphorescenz durch Insolation gehöre. Uebrigens bemerkt auch Helwig, daſs beide Lichtscheine sich einander sehr ähnlich und nur hinsichtlich der Form verschieden sind, indem das Windbüchsenlicht einen leuchtenden Kegel, der Lichtschein der Knallbomben aber eine nach innen minder helle, im Centrum einen dunkeln Punct zurücklassende Sphäre bildet. Nach Remer läſst sich dann auf diese Thatsachen eine allgemeine Folgerung bauen, wonach bei der Ausdehnung der dichteren Luft in einen gröſseren Raum Wärme gebunden, Licht dagegen frei wird. Diesem gemäſs neigt er sich zu der damals herrschenden Ansicht hin, wonach diese

1 Gren's Journ. d. Phys. Bd. VIII. S. 20.
2 G. LI. 112.

beiden Wesen, als materiell angenommen, einander entgegengesetzt seyn sollen. Es lieſse sich hiergegen, auch nach dem damaligen Standpuncte der Wissenschaft, das Argument geltend machen, daſs gerade bei der Steigerung der Wärme, namentlich bis zur Glühhitze der Körper, Licht entbunden wird, insbesondere aber kannte Remer damals das Phänomen noch nicht, daſs durch schnelle Compression der Luft im Tachopyrion ein Lichtschein erzeugt wird[1], sonst würde ihm die Analogie beider Wirkungen nicht entgangen seyn. Indem aber der Lichtschein im Tachopyrion durch Compression und nicht durch Expansion der Luft erzeugt wird, so steht dieses nicht bloſs der eben erwähnten, sondern auch einer andern, von ihm aufgestellten Hypothese entgegen. Hiernach hat die Luft vielleicht eine desto stärkere Kraft, den Lichtstoff zu binden und chemisch mit sich zu vereinigen, je dichter sie ist, und wenn sie sich dann schnell in einen gröſseren Raum ausdehnt, so wird dadurch ihre Capacität für die Wärme vermehrt, zugleich aber der zusammengepreſste Lichtstoff in heftige Bewegung versetzt, mithin sichtbar gemacht, wenn anders leuchtendes, sichtbares Licht Bewegung des Lichtstoffes im Raume ist. Wir werden später wieder hierauf zurückkommen, wollen aber für jetzt nur bemerken, daſs Bindung der Wärme und Freimachung des Lichtes in Folge der Luftverdünnung bei zwei sich so ähnlichen Wesen, als Licht und Wärme sind, ohne genügenden Grund angenommen wird, wozu wohl das damals herrschende Streben nach Gegensätzen Veranlassung geben mochte.

Von Grotthuss bestätigt die Thatsache in Gemäſsheit eigener Versuche, indem er beim Abschieſsen einer stark geladenen Windbüchse einen sehr hellen Lichtschein gewahrte, welcher sich jedoch beim zweiten Schusse nicht mehr oder nur von geringer Intensität zeigte. Er nennt denselben eine blendend leuchtende Flamme, und meint, sie würde wohl leicht brennbare Körper in Brand gesetzt haben, wenn diese nicht durch die prädominirende Wirkung der in gewaltsame Bewegung gesetzten Luft fortgeschleudert worden wären. Hiernach hält Grotthuss die ausfahrende Luft im eigentlichen Sinne für glühend und demnach leuchtend, was auf jeden Fall höchst unwahrscheinlich ist, indem man sich den Ursprung einer

1 S. Art. *Feuerzeug, pneumatisches.* Bd. IV. S. 240.

solchen Glühhitze nicht wohl vorstellen kann, die sich aufserdem nothwendig auch durch Mittheilung auf irgend eine Weise kund geben müfste, abgesehn von dem Umstande, dafs Glühhitze erzeugende Luft, ohne in ihr enthaltene feste Theile, vielleicht gar nicht leuchtet, wie die geringe Helligkeit des so genannten *lumen philosophicum* (die sehr matte und geräuschlose Flamme des aus einer Glasröhrenspitze ausfahrenden und daselbst angezündeten Wasserstoffgases) und der Flamme des Knallgasgebläses zeigt. Seine Erklärung über den Ursprung der Wärme, wodurch die Luft zur Glühhitze gebracht werden soll, ist gekünstelt, weil zugleich das Verhalten im Kolben mit berücksichtigt und angenommen wird, der ausfahrende Theil Luft erhalte durch die nachstürzende eine erhöhete Temperatur. Abgesehn hiervon und in directer Beziehung auf den erzeugten Lichtschein spricht Grotthuss seine Ansicht deutlich aus. Hiernach „erduldet die plötzlich expandirte Luft von der At„mosphäre und von den Wänden des Windbüchsenlaufes einen „so heftigen Widerstand, dafs sie gewaltsam comprimirt und „der Wärmestoff daraus in Feuergestalt herausgetrieben wird. „Die Compression ist also hier eine Folge der Expansion und „Resistenz, die beide zugleich und schnell wirken und da„durch das Feuer veranlassen.“ Es kann indefs dem skeptischen Forscher nicht entgehn, dafs die Expansion der ausfahrenden Luft gleich stark, als die Compression der äufseren seyn und jene daher Kälte erzeugen mufs, wenn diese Wärme hervorruft, mithin an eine Erzeugung der Glühhitze nicht wohl zu denken ist. Dieses Argument würde auch dann noch gültig seyn, wenn man sagen wollte, die umgebende Luft, in welche die ausfahrende stürzt, habe bereits einen gewissen Grad der Dichtigkeit, und dieser werde auf jeden Fall durch die eindringende vermehrt; denn beide Luftmassen haben eine gewisse Temperatur, und diese mufs auf gleiche Weise durch die Compression des einen Theils erhöht, durch Expansion des andern vermindert werden, beide Wirkungen bedingen einander gleichzeitig, und es kann die erstere um so weniger ein Uebergewicht über die letztere erhalten, als die äufsere Luft sich im unbegrenzten Raume leicht ausdehnen kann. Nimmt man aber hinzu, dafs Knallbomben beim Eindringen der Luft in den leeren Raum, und mit Luft gefüllte Kugeln beim Zerplatzen im Vacuum der Luftpumpen gleichfalls diesen Lichtschein zeigen,

so kann man ihn unmöglich bei den Windbüchsen vom Erglühen der Luft ableiten. Am entscheidendsten streitet hiergegen der bekannte Versuch von Dessaignes[1], welcher Thierblasen über gläserne Cylinder spannte und nach dem völligen Trocknen durch Exantliren der Luft zersprengte. Je mehr die Luft verdünnt war, um desto heller zeigte sich im Dunkeln der Lichtschimmer, welcher sich im ganzen Cylinder ausbreitete und dem Lichte des im Eudiometer detonirenden Knallgases oder dem in Gewitterwolken sichtbaren elektrischen glich. War das Vacuum minder vollkommen, so gewahrte er nur ein schwaches röthliches Licht am Boden des Gefäſses. Angenommen, es sey bei diesen Versuchen noch ein Antheil Luft in dem Cylinder zurückgeblieben und durch die eindringende comprimirt worden, so konnte hierdurch unmöglich bei gleichzeitiger Mitwirkung der durch die eindringende expandirte Luft erzeugten Kälte eine im ganzen Cylinder sich ausbreitende Erglühung der Luft bewirkt werden, abgerechnet daſs diese dann bei zurückgebliebener gröſserer Menge von Luft vielmehr stärker, keineswegs aber schwächer seyn muſste. Wir müssen daher diese Erklärung als durchaus unzulässig verwerfen.

Der oben genannte Leyser[2], welcher gleich anfangs die Richtigkeit der Thatsache bekräftigte, war der Meinung, der Lichtschein zeige sich bloſs bei Windbüchsen mit eisernen Läufen, nicht bei messingnen oder mit Messing gefütterten. Es ist schwer, die Richtigkeit dieser Behauptung zu prüfen, denn obgleich Gilbert sie dadurch bestätigt, daſs seine Windbüchse mit messingnem Laufe keinen Lichtschein zeigte, so ist dieses ohne Werth, weil wir bloſs mit Sicherheit wissen, daſs das Phänomen bei stark geladenen Windbüchsen beobachtet worden ist, und so kann das Ausbleiben desselben bei messingnen Läufen um so natürlicher aus dem Mangel einer hinlänglichen Compression abgeleitet werden, als diese Art der Apparate meistens mehr zur bloſsen Belustigung und daher mit minderer Solidität verfertigt zu werden pflegt; für die Erklärung können wir daher hieraus um so weniger einen Anhaltpunct hernehmen, als in beiden Fällen Metalle vorhanden sind, deren Unterschied schwerlich von irgend einem Einfluſs seyn dürfte, da ohnehin der

1 Aus Journ. de Phys. in G. XLIX. 310.

2 G. VIII. 340.

sehr ähnliche Lichtschein auch ohne vorhandenes Metall bei Glas allein oder mit Thierblase vereint zum Vorschein kommt. Inzwischen ist dieser Unterschied allerdings dann nicht unbedeutend, wenn nach Leyser's Ansicht das Leuchten eine Folge hineingekommenen Sandes seyn sollte. Eben diese Erklärung hat später Hart[1] aufgestellt und durch eine grofse Reihe von Versuchen zu unterstützen gesucht. Hiernach zeigte sich das Leuchten nur dann, wenn kleine Körperchen, als Sand, Staub u. s. w., im Laufe anwesend waren, die sich seiner Meinung nach an den Wandungen des Laufes reiben und dadurch den Lichtschein hervorrufen. Hiermit stimmen allerdings Schweigger's[2] Versuche überein. Dieser lud seine Windbüchse so schwach, dafs sie für sich keinen Lichtschein zeigte, welcher jedoch sofort zum Vorschein kam, wenn eine Bürste von feinem Eisendraht an die Mündung gehalten wurde. Auch blofs aufgewundener Eisendraht, der keine Masse von Spitzen bildete, wirkte, wenn gleich schwächer. Feiner aufgewundener Platindraht gab schwache oder gar keine Wirkung, eine Bürste von Messingdraht oder eine Masse durch einen dünnen Kork gesteckter Stecknadeln mit hervorragenden Spitzen wirkte schwächer, denn der Eisendraht gab Funken und Feuerstreifen, Messingdraht aber nur einen phosphorischen Schein. Eine vorgehaltene Quarzdruse gab schönes Licht, vorgehaltene Glasfäden aber, die eingeladen nach Hart so stark leuchteten, zeigten keinen Lichtschein. In Gemäfsheit dieser Erscheinungen verwirft Schweigger die durch Hart aufgestellte Hypothese, wonach das Leuchten eine Folge der Reibung solcher Körper seyn soll, die für sich gerieben phosphorisches Licht geben, als Quarz, Flufsspath, Zucker u. s. w., und meint vielmehr, Spizzen, namentlich metallische, seyen in einem Strome atmosphärischer, Sauerstoff enthaltender, Luft der Lichtentwickelung auf gleiche Art günstig, als Platinspitzen im Strome von Wasserstoffgas. Wenn man aber die Entzündung des Döbereiner'schen Platinschwammes in einem Strome Wasserstoffgas, worauf Schweigger sich hier bezieht, gehörig würdigt[3], so gelangt

---

1 Quarterly Journ. of Science. N. XV. p. 64. Ann. de Chim. et Phys. T. XXII. p. 437.

2 Dessen Journ. Th. XL. S. 22.

3 Vergl. Art. *Wärme*. Bd. X. S. 278.

man bald zu der Ueberzeugung, daſs sich zwischen diesem und dem hier in Rede stehenden Phänomene zwar eine Analogie auffinden, keineswegs aber die Erklärung des einen aus dem andern entnehmen läſst. Der Platinschwamm erfordert keine Compression des Gases, vielmehr erfolgt die Entzündung im Knallgase selbst unter geringerem, als dem mittleren atmosphärischen Drucke; bei den Windbüchsen wird der Lichtschein durch vorhandene Metallspitzen zwar erhöht, aber insofern nicht eigentlich erzeugt, als er auch ohne diese zum Vorscheint kommt; eine Verdichtung der atmosphärischen Luft durch die Metallspitzen, wie des Wasserstoffgases durch den Platinschwamm, findet aber überall nicht statt.

Sehr gründliche Untersuchungen über das Windbüchsenlicht hat auch der wegen seiner hohen Wissenschaftlichkeit ehrwürdige Placidus Heinrich[1] angestellt, wobei er nicht bloſs die unmittelbar hierhergehörigen, sondern auch die bereits genannten, hiermit innig verbundenen Versuche selbst wiederholte. Nach den Ergebnissen mit einer vorzüglich guten Windbüchse von Kuchenreuter in Regensburg sah er allezeit einen Lichtbüschel, wenn die Ladung vollständig war, denn gewöhnlich blieb er schon beim dritten Schusse aus; bei manchen Windbüchsen blieb aber das Licht auch dann aus, wenn ihre Ladung so weit getrieben war, als geschehn durfte. Das Licht erschien bei ganz eisernen oder nur mit Blei gefütterten Läufen, die Entladung mochte frei oder mit einer Kugel geschehn; reichliches Oelen schien mehr zu schaden, als zu nützen. Stand die Büchse geladen vom Nachmittage bis zur eingetretenen Dunkelheit am Abend in einem warmen Zimmer, so glückte der Versuch besser. Windbüchsen mit weiten Läufen gaben nie einen Lichtschein, noch weniger, wenn der Lauf ganz beseitigt und das freie Ventil aufgeschlagen wurde; das Leuchten trat aber selbst bei weiten Läufen ein, wenn diese zur Hälfte mit einem der Länge nach gespaltenen Ladestocke ausgefüllt waren. Höchst interessant war, daſs Heinrich die Versuche ungeachtet der nicht wohl zu beseitigenden Gefahr auch mit gläsernen Läufen von 7 bis 2,5 Linien lichter Weite und von 3 bis 1 Par. Fuſs Länge anstellte und dabei fand,

1 Die Phosphorescenz der Körper u. s. w. Nürnberg. 2 Th. 4. Th. II. S. 431.

dafs diese die Erscheinung in jeder Beziehung besser, als metallene Läufe zeigen, obwohl auch hierbei die gröfsere Weite den Effect aufhob. Stellt sich der Beobachter in mäfsiger Entfernung dem ihm entgegengerichteten Laufe gegenüber, so gewahrt er im Innern desselben einen schwachen Lichtschimmer, welchen ein seitwärts stehender nicht sieht.

Aus allem diesem schliefst Heinrich, dafs der Erfolg vom Bestreben der Luft sich auszudehnen und von den Hindernissen abhängt, die sich dieser Ausdehnung entgegensetzen. Starke Ladungen und geringe Weite des Laufes sind also die nothwendigen Bedingungen, damit die verdichtete Luft sich nicht sofort in einen zu grofsen Raum ausdehnen kann; das Licht entsteht daher in Folge der Verdichtung auf gleiche Weise, als beim Tachopyrion, ja selbst das Licht der Feuerwaffen soll nach Heinrich zum Theil durch Compression erzeugt werden, wie man daraus ersieht, dafs gleiche Mengen Pulver mit Kugel und Pfropfen abgeschossen stärker leuchten, als ohne dieses. Auch das beim Zersprengen einer Blase entstehende Licht ist hiernach als durch Condensation entstanden zu betrachten. Am besten zeigt sich diese Erscheinung, wenn man eine starke Blase über einen 5 bis höchstens 6 Zoll weiten gläsernen Cylinder ausspannt, nach dem Trocknen stark exantlirt und das Zerplatzen durch einen Stofs gegen die Mitte herbeiführt. Eine zerspringende Glasplatte giebt keinen Lichtschein, und zwar wegen der vielen Glassplitter. Wenn man den Embolus eines pneumatischen Feuerzeuges ganz hinabdrückt, der Luft dann Zeit läfst, völlig zu entweichen, und demnächst den Kolben rasch herauszieht, so gewahrt man gleichfalls einen Lichtschein[1]. Placidus Heinrich wiederholte auch die Versuche des Zersprengens luftvoller Glaskugeln unter der Campane der Luftpumpe, so wie des Zerschellens der Knallbomben, gewahrte auch den Lichtschein zerspringender Glasthränen, die man zur Vermeidung einer Beschädigung der Augen durch umhergestreute Glas-

---

1 Placidus Heinrich liefs sich ein gläsernes *Tachopyrion* verfertigen, welches am Ende mit einer messingnen Fassung und einem Hahn versehn war. Die Fassung ging im Innern so weit hinauf, als ihr äufserer Rand, die Oeffnung war sehr eng, doch konnte die Füllung mit verschiedenen Gasarten dadurch geschehn. Mit einem solchen wurden die Lichterscheinungen leicht erhalten.

splitter am besten mit einer Zange an der Spitze faſst und mit dem dickeren Ende gegen eine Wand stöſst. Die bekannten Dampfkügelchen, durch Hitze zerspringend, gaben nie einen Lichtschein, was allerdings bei dem heftigen Knallen derselben merkwürdig ist; dagegen versicherten glaubhafte Zeugen, daſs sich bei Nacht ein schwacher Lichtschein hinter einer starken Windbüchsenkugel zeige, und er selbst glaubte diesen in sehr finsteren Nächten beim Knallen stark geschwungener Peitschen wahrgenommen zu haben.

Fragen wir, um wie viel die Erklärung dieses merkwürdigen Phänomens durch diesen reichen Zuwachs von Thatsachen seit dem ersten Entdecker desselben, Remer oder Weber, weiter gefördert worden sey, so ist der erhaltene Gewinn keineswegs bedeutend. Das Leuchten mit Weber für elektrisch zu halten ist nach den Versuchen Remer's nicht wohl zulässig, auch würde dieses die Beantwortung der Frage am Ende nur etwas weiter hinausschieben. Die von Hart aufgestellte Hypothese ist durch Schweigger widerlegt worden, welcher keine eigene zur Erklärung aufstellt, sondern bloſs sagt, die Wirkung werde durch Metallspitzen erhöht, also das auch ohne diese vorhandene Leuchten verstärkt. Ein eigentliches Glühen und dadurch erzeugtes Leuchten der Luft anzunehmen, worauf Grotthuss durch die ihm so eben bekannt gewordene Erscheinung des Tachopyrions geführt wurde, ist aus bereits angegebenen Ursachen nicht wohl zulässig. Nach Heinrich liegt die Ursache aller der genannten Lichterscheinungen in der Compression der Luft, selbst auch dann, wenn diese in ein Vacuum hineinstürzt, weil auch dabei auf jeden Fall ein Stoſs derselben gegen eine vorhandene Wandung statt findet. Zu derselben Classe von Erscheinungen gehört nach ihm dann auch das *elektrische Leuchten*, erzeugt durch gewaltsame Durchbrechung der Luft mit einer unglaublich groſsen Geschwindigkeit, wobei er jedoch zugesteht, daſs der strahlende Schein in der Torricelli'schen Leere für ein Leuchten der elektrischen Materie an sich gelten könne. Ohne in die Erklärung des letzteren, vielfach behandelten Problems weiter einzugehn, möge nur die Bemerkung hier Platz finden, daſs es bei jeder Erklärung vorliegender Erscheinungen eine miſsliche Sache ist, zwei neben einander bestehende Ursachen anzunehmen, ohne zugleich zu bestimmen, welcher Theil und bis zu welchen Grenzen der einen oder der andern zukomme;

wie man denn namentlich in dem hier gegebenen Falle immerhin annehmen könnte, die im Vacuum als selbstleuchtend vorhandene Elektricität werde beim Durchbrechen der nicht leitenden Luft stärker zusammengedrückt, und leuchte dadurch heller, wonach also das Auspressen des Lichtes aus der Luft bei diesen Phänomenen wegfallen würde. Fragen wir nach dem Causalzusammenhange zwischen der Compression der Luft und dem Lichtscheine, so war Heinrich noch Anhänger der Emanations-Hypothese; nach ihm ist daher in der Luft Lichtmaterie vorhanden, und diese wird, eben wie der Wärmestoff, aus derselben mechanisch ausgeprefst. Die Erklärung wäre sonach leicht, und obendrein im Einklange mit Helwig's Wahrnehmung, wonach das Leuchten da aufhört, wo vorher weniger hinfallendes Licht aufgehäuft wurde.

Aber auch dieser Hypothese steht entgegen, dafs sie zur Undulationstheorie nicht pafst, die allzufest begründet ist, als dafs sie durch das vorliegende Phänomen wankend werden könnte. Dieser gemäfs müfsten also durch den plötzlichen Stofs der Luft Vibrationen des überall verbreiteten Lichtäthers erregt werden und die Erscheinung fiele demnach mit den zahlreichen übrigen des Selbstleuchtens zusammen. Dafs solche Undulationen, die Lichtwellen, durch die verschiedensten Ursachen hervorgerufen werden, ist eine bekannte, wenn gleich ätiologisch noch nicht vollständig erklärte Thatsache; sofern aber hier zunächst nur von einem einzelnen, zu einer übrigens zahlreichen Classe gehörigen Phänomene die Rede ist, kann man immerhin sagen, es sey hierzu eine Veranlassung vorhanden, die sich auch anderweitig, namentlich bei der Phosphorescenz, wirksam zeigte, und wenn man dann berücksichtigt, wie zahlreich die Erscheinungen des Leuchtens sind, die zur grofsen Classe der Phosphorescenz gehören[1], so mufs man gestehn, dafs die diese erzeugenden Undulationen des Lichtäthers durch die vielfachsten mechanischen Ursachen sehr leicht hervorgerufen werden. Aus der Vergleichung aller hierher gehörigen Versuche geht übrigens hervor, dafs nur dann Lichtundulationen hervorgerufen werden, wenn irgend ein fester Körper der bewegten Luft einen Widerstand darbietet, was mit der Entstehung der Wellen überhaupt sehr gut übereinstimmt,

---

1 S. Art. *Licht.* Bd. VI. S. 272 ff.

und die Erklärung dieser eigenthümlichen Phosphorescenz ungleich leichter macht, als die zahlreicher anderer. Mit Rücksicht hierauf möchte ich den hinter abgeschossenen Kugeln und durch Peitschenknall erzeugten Lichtschein vorläufig in Abrede stellen, weil hierbei ebenso wenig ein der bewegten Luft Widerstand entgegensetzender Körper vorhanden ist, als beim freien Oeffnen eines Windbüchsenventils, abgesehn davon, daſs das Licht selbst bei weiten Läufen der Windbüchsen fehlt.

M.

Windmesser.

Anemometer, Anemoskop[1], Windfahne, Wetterfahne (Wetterhahn); *Anemoscopium, Anemometrum, Plagoscopium;* Anémomètre, Anémoscope, Girouette (Flouette); *Anemometer, Anemoscope, Weather-cock, Weather-flag, Fane, Vane, Windgage.*

Mit diesen verschiedenen Namen werden zwei Arten von Apparaten bezeichnet, welche zwar beide zur Beobachtung des Windes dienen, jedoch in sehr ungleicher Absicht. Mittelst der einen Classe derselben verlangt man bloſs die horizontale Richtung des Windes kennen zu lernen, mittelst der andern sucht man theils die hiervon abweichenden Richtungen, theils und insbesondere aber die Geschwindigkeit und die hierdurch erzeugte Kraft desselben zu erforschen; an beiden Arten hat

1 In Beziehung auf dieses Werkzeug, wovon Bd. I. S. 292 gehandelt wurde, ist noch zu bemerken, daſs dieser Name dem von Otto v. Guericke erfundenen *Wettermännchen* nicht durch Comiers (im Texte a. d. a. Stelle steht unrichtig Couriers, in der Anm. richtig Comiers), sondern schon früher durch den Erfinder selbst, wie Pfleiderer meint (Thesium inaugur. pars mathematico-physica cet. Tub. 1792. 4. Thes. XXV.), oder nach Gehler's Meinung (Wörterb. a. A. Bd. V. S. 29) durch dessen Sohn in einem Briefe an Lubienietzky, oder durch diesen Letzteren als Uebersetzung des Wortes *Wettermännchen* beigelegt wurde. S. Stanisl. Lubienietz Lubieniecii Theatrum cometarum. Amst. 1668. fol. p. 239 u. 250.

man seit den ältesten Zeiten viel gekünstelt, und selbst in den neuesten Zeiten hat man sich nicht allgemein über eine allseitig genügende Construction derselben vereinigt. Wir wollen die vorzüglichsten der darauf bezüglichen Vorschläge einzeln prüfen.

1) Um die jedesmalige Richtung des Windes zu wissen, dienen die gewöhnlichen Windfahnen. Im Wesentlichen bestehn diese aus einem Bleche, einer Tafel, einer Platte, welche in einer verticalen Ebene befindlich so befestigt wird, daſs der Wind durch den Stoſs gegen ihre gröſseren Flächen sie um eine verticale Stange in seine Richtung dreht, wobei sie entweder sich um diese Stange bewegen, oder an ihr festsitzend diese zugleich mit umdrehn. Da die meisten in bedeutender Höhe, auf den Spitzen der Häuser oder der Kirchthürme, angebracht sind, mithin, um in der Ferne gesehn zu werden, bedeutend groſs, und der Dauerhaftigkeit wegen von Metallblech seyn müssen, so ist es rathsam, sie in ihrem Schwerpuncte zu unterstützen und daher die bewegliche Platte durch ein Gegengewicht zu balanciren, welches dem Winde eine ungleich kleinere Fläche entgegenstellt und somit die Umdrehung der gröſseren Platte nicht bedeutend stört. Meistens wählt man die Durchschnittsfläche eines Hühnerhahns, dessen dickerer Kopf und Hals dem aus dünnen Blech verfertigten Schwanze das Gegengewicht hält, wovon der Name Wetterhahn entstanden ist; sonst wählt man auch wohl einen Pfeil, bei dem die Fläche der vorderen Spitze horizontal gerichtet ist, das Gefieder am hinteren Ende aber in einer verticalen Ebene liegt, oder die Form eines Fisches oder eines Löwen, welcher durch einen schweren Bügel im Gleichgewichte gehalten wird. Die Herstellung des Gleichgewichts, oder daſs der Schwerpunct der Fahne in die sie tragende Stange fällt, ist deswegen erforderlich, weil sonst bei der geringsten Beugung der Tragstange oder ihrer Abweichung von der genau verticalen Richtung der Schwerpunct sich nach dieser Seite hin senkt und schwache Winde nicht vermögen, die Fahne aus dieser Lage zu bewegen. Diejenigen Flächen, welche durch den Stoſs und Druck des Windes in die Richtung desselben gebracht werden, müssen nothwendig leichte Beweglichkeit haben, worauf man bei der Anlegung derselben stets eifrig bedacht ist, weswegen man sie von dünnem Bleche und überhaupt so leicht macht, als

dieses den Umständen nach geschehn kann. Sitzen sie an der drehbaren Stange fest, in welchem Falle der untere Theil dieser Stange in das Gebäude herabgeht und auch aus hinlänglich ausgetrocknetem, sich nicht mehr verziehenden Holze bestehn kann, so muſs diese hinlänglich lang seyn, um eine Abweichung ihrer Richtung von der verticalen zu vermeiden, der untere Theil des oberen metallenen Endes der Stange muſs durch einen die wenigste Reibung gebenden metallenen Ring gehn, das untere Ende aber mit einer glatten Metallspitze in der konischen Vertiefung einer harten Metallplatte laufen.

2) Die Windfahnen erhalten durch die angegebenen Bedingungen eine sehr groſse Beweglichkeit, um selbst schwachen Luftströmungen gehörig auszuweichen und deren Richtung anzuzeigen. Es ist indeſs schon im Art. *Wind* bemerkt worden, daſs dieser, besonders bei groſser Stärke, seine Richtung sehr oft ändert, die Windfahne daher sich stets durch einen groſsen Bogen bewegt, welcher selbst bis zu 180 Graden steigen kann; die eigentliche Windrichtung muſs daher dann im Mittel der äuſsersten Abweichungen genommen werden, was aber nur genäherte Bestimmungen gestattet. Um diese unaufhörlichen Schwankungen zu beseitigen, wählten Engelhardt und Parrot[1] statt eines Bleches zwei in einem Winkel von 45° zusammengefügte, wobei eine diesen Winkel halbirende gerade Linie die Richtung des Windes angab. Um insbesondere in gröſserer Höhe den Stand der Windfahnen leichter zu erkennen, befindet sich meistens sehr zweckmäſsig unter ihnen ein in einer horizontalen Ebene liegendes, aus zwei rechtwinkelig über einander liegenden Stäben bestehendes Kreuz, auf dessen vier Enden die aufwärts stehenden Anfangsbuchstaben der Hauptwinde aufgerichtet sind.

3) Bei den gewöhnlichen Windfahnen liegt ein so einfaches

---

1 Deren Reise in den Caucasus. Th. II. S. 20. Hierbei liegt eine Angabe des älteren Parrot zum Grunde, welcher die Fahne aus zwei dünnen Blechen verfertigen lieſs, die mit den einen Seiten vereint wurden, von da an aber krumm gebogen waren und an den andern auseinander standen, so daſs die anderen Enden ungefähr einen Winkel von 45° bildeten. Zur Krümmung scheint ihm die cykloidische am geeignetsten, und die Bleche sollen so dünn gewählt werden, daſs der Druck des Windes sie zu biegen vermag. S. Voigts Magazin. Th. I. St. 2. S. 144.

Princip zum Grunde, daſs sich nicht füglich Künsteleien anbringen lassen, mit denen man übrigens bei allen meteorologischen Instrumenten stets sehr freigebig war. Man behielt daher im Ganzen die einfache Einrichtung derselben bei, wählte aber für solche, die sich namentlich über Beobachtungszimmern befinden, eine wesentlich verbesserte. Es ist nämlich allerdings vortheilhaft, namentlich in Städten, wo leicht durch die Richtung der Straſsen und die Lage hoher Häuser die Bahn des Windes abgeändert wird, die Windfahnen auf den Spitzen groſser Gebäude, namentlich auf den Thürmen anzubringen, allein dieses führt auch den Nachtheil herbei, daſs man nur mit Mühe und keineswegs hinlänglich scharf die Richtung derselben nach den Weltgegenden unterscheiden kann. Um diesen Zweck zu erreichen, läſst man auf eine hierfür sehr geeignete Weise die Stange, an welcher oben die Fahne unbeweglich festsitzt, in das Beobachtungszimmer herabgehn, unterstützt deren untere Spitze durch einen horizontalen eisernen Querbalken, auf welchem sie in einer Vertiefung leicht beweglich ruht, bringt über demselben einen Zeiger an, welcher mit der Windfahne in der nämlichen verticalen Ebene liegt, und befestigt über demselben an der Decke eine runde Tafel, worauf die Windrose gezeichnet ist. Es ist nicht schwer, auf diese Weise die eigentliche Richtung des Windes genau zu erkennen; inzwischen fand man es ehemals zu unbequem, in die Höhe zu sehn, und zog vor, die Windrose in eine verticale Ebene an einer der Wände des Beobachtungszimmers zu bringen. Zu diesem Ende versah man die herabgehende Stange mit einem in horizontaler Ebene liegenden Kronrade und lieſs dessen Zähne in ein anderes, in verticaler Ebene liegendes Kronrad oder nur in ein einfaches Getriebe eingreifen, auf dessen horizontaler, durch die Wand des Zimmers gesteckter Axe der Zeiger festsaſs. Indem dann beide Räder eine gleiche Anzahl Zähne hatten, drehte sich der Zeiger durch gleiche Bogen, als die Windfahne. Dieses Instrument beschreiben Ozanam[1], Nollet[2] und mehrere Andere, welche sämmtlich aus dieser Quelle geschöpft haben, Leupold[3] aber giebt noch

1 Récréations mathématiques. T. II.

2 Die Kunst physikalische Versuche anzustellen. Leipz. 1771. Th. III. S. 53.

3 Theatrum aërostaticum. P. III. Cap. X.

verschiedene Abänderungen desselben an, und bringt unter andern auch eine kleine tragbare Windfahne in Vorschlag, die mit einem Compasse verbunden ist, um das Verhältnifs der Windrichtung zum magnetischen Meridiane zu kennen. Da alle solche Mechanismen die Vorrichtung complicirter machen, die leichte Beweglichkeit hindern und Stockungen veranlassen können, so zieht man jetzt die einfachere und dauerhaftere Einrichtung vor, ohne die geringfügige Unbequemlichkeit des Ablesens auf einer unter der Decke befestigten Windrose zu scheuen, würde aber auf den Fall, dafs es einer Abänderung bedürfte, bei dem heutigen Stande der Mechanik wegen der Ausführung nicht in Verlegenheit seyn.

4) Die sämmtlichen, hier angegebenen und alle ihnen ähnliche Windfahnen geben blofs die horizontale Richtung des Windes an; man hat aber vielfach den Wunsch geäufsert, auch die verticale kennen zu lernen, es ist mir jedoch nicht bekannt, dafs man einen geeigneten Apparat, um diese zu ermitteln, in Ausführung gebracht habe[1]. Genau betrachtet ist auch die Sache keineswegs von so grofser Bedeutung, als es beim ersten Anblick den Schein hat. Allerdings ist nicht zu leugnen, dafs die Richtung des Windes keineswegs allezeit eine horizontale sey, vielmehr weichen die Winde sehr häufig hiervon um gröfsere oder kleinere Winkel ab, und es würde sehr interessant seyn, namentlich bei der Entstehung eines Windes durch aufsteigende oder herabsinkende Luftmassen deren jedesmalige Richtung zu kennen, weil man hiernach besser die Ursache dieser Luftbewegung auffinden könnte. Beim Fortgange desselben wird aber, selbst wenn er sich in gröfseren Höhen bewegt, seine Richtung fortwährend mehr durch die Gestalt der Erdoberfläche bedingt, so dafs man von dieser leicht auf jene schliefsen kann, und es gewährt dann kein sehr bedeutendes Interesse mehr, wenn man weifs, dafs der Wind von einem Berge mehr aufwärts steigt und hinter demselben wieder herabsinkt, oder durch hohe Häuser, namentlich Kirchthürme, in Folge ihres Widerstandes mehr in die Höhe getrieben wird. Inzwischen hat Benzenberg[2] eine sehr einfache Fahne vorge-

1 Einige zweckmäfsige Vorrichtungen werden später erwähnt werden; sie gehören zu den registrirenden Windfahnen.

2 G. VIII. 240. Eine andere, noch einfachere und bequemere Vorrichtung für diesen Zweck giebt §. 39.

schlagen, welche nicht bloſs die horizontale, sondern auch die verticale Windrichtung angiebt. Sie besteht aus einer gewöhnlichen Windfahne, bei welcher aber die flache Scheibe D etwas groſs seyn muſs, damit ihre Stellung in die verticale Ebene der Windrichtung durch den Stoſs gegen den am andern Ende angebrachten Mechanismus nicht gestört werde. Die Scheibe der Windfahne wird nämlich durch ein Rectangel aus Metallstäben balancirt, an dessen äuſserstem Ende sich eine aufstehende Stange als Träger eines zweiten ähnlichen Rectangels befindet, dessen Ebene mit der des ersteren zwei rechte Winkel bildet. Oben auf demselben ist eine in verticaler Ebene drehbare, mit ihrer Axe leicht bewegliche Scheibe E angebracht und durch ein Rectangel von Draht balancirt, dessen äuſserste Seite noch auſserdem durch ein angemessenes Gewicht K beschwert ist. Hierdurch läſst sich leicht bewerkstelligen, daſs für sich die Scheibe E im Zustande der Ruhe wie ein Waagebalken in horizontaler Richtung bleibt; stöſst aber der Wind gegen dieselbe, so wird sie, um dessen Drucke auszuweichen, ihm die scharfe, den geringsten Widerstand leistende Seite zukehren, mithin in diejenige horizontale oder geneigte Richtung getrieben werden, in welcher sich der Wind bewegt. Fig. 208.

Durch welche verschiedene Vorrichtungen diese gemeinen Windfahnen sich selbstregistrirend machen lassen, wird im Folgenden gelegentlich gezeigt werden.

Man könnte die beschriebenen Apparate mit dem gemeinschaftlichen Namen *Windzeiger* benennen und würde sie dadurch von der zahlreichen Classe der *Windmesser* unterscheiden, von denen jetzt die Rede seyn wird. Die Bestimmung dieser letzteren ist, die Stärke des Windes zu messen, und da diese Aufgabe stets groſses Interesse erregte, so hat man sie auf sehr verschiedene Weise zu lösen versucht. Wir wollen die bekanntesten und vorzüglichsten zu diesem Zwecke in Vorschlag gebrachten Vorrichtungen einzeln betrachten und nach Umständen näher beschreiben. Beiläufig möge indeſs zuvor ein Vorschlag erwähnt werden, welcher zeigt, zu welchen indirecten Mitteln man früher wohl seine Zuflucht zu nehmen pflegte, statt diejenigen zu wählen, die bei weitem näher liegen. Man verfiel auf die Idee, die Stärke des Windes durch die Höhe und Tiefe des Tones zu messen, welchen eine dem

Winde entgegengerichtete Pfeife gab. Leupold[1] beschreibt eine Pfeife dieser Art, giebt aber nicht genauer an, in welchem Verhältniſs die Höhe des Tones mit der Geschwindigkeit des Windes steht und wie man die letztere überhaupt bestimmt hierdurch messen könne. Eine Aeolsharfe würde allerdings auch dazu dienen können, die wachsende Geschwindigkeit des Windes durch zunehmend stärkeres Tönen wahrzunehmen, allein man übersieht bald, daſs an eine eigentliche Messung durch diese Mittel nicht zu denken sey, weswegen man sie am besten ganz unbeachtet läſst.

5) Der älteste, ohne Angabe des Erfinders bekannt gewordene Vorschlag zu einem die Stärke des Windes messenden Apparate beruhte auf der Idee, eine vertical herabhängende Scheibe durch den Stoſs des Windes heben zu lassen, die hierzu erforderliche Kraft zu suchen und hieraus die Geschwindigkeit des Windes zu berechnen[2]. Zu diesem Ende ist die
Fig. 209. Stange A B mit einem um sie drehbaren Quadranten versehn, dessen Bogen m n Grade der Kreistheilung enthält. An einer Stange hängt die flache Scheibe C herab, welche durch den Stoſs des Windes aus ihrer verticalen Lage gehoben, unter Voraussetzung des in horizontaler Richtung sie treffenden geraden Windstoſses hierdurch aus ihrer verticalen Lage gebracht wird, und vermittelst der Sinus oder der Tangenten ihrer Elevationswinkel die Stärke des Stoſses und die diesem zugehörige Geschwindigkeit des Windes nach denjenigen Gesetzen angiebt, welche im Art. *Widerstand* erörtert worden sind. Der Winkel wird entweder sogleich abgelesen, oder man versieht die Stange mit einem Sperrhaken, um ihren Rückgang zu hindern und die Grade auf dem Quadranten später abzulesen, welche dann das Maximum der erreichten Stärke angeben. Diese letztere Einrichtung ist eigentlich nothwendig und kann unter der Voraussetzung einer so leichten Beweglichkeit der Sperrvorrichtung, daſs die hiermit verbundene Reibung nicht in Betracht kommt, allein richtige Resultate geben.

6) Ein ganz auf die hier beschriebene einfache Weise construirtes Anemometer erwähne ich gern, weil es unter den zahllosen, später beschriebenen und angeblich verbesserten immer

1 Theatr. Aerost. Cap. X. §. 122 u. 133.

2 Philos. Trans. T. II. N. XXIV. p. 444. Vom Jahre 1667.

noch das zweckmäſsigste und selbst im Groſsen ausführbar seyn dürfte. Dasselbe ist von PICKERING[1] neben seinen übrigen meteorologischen Apparaten angegeben worden und aus der Zeichnung leicht kenntlich. Die Stange AB, welche der Angabe nach verlängert in einem Piedestal beweglich und unten mit einem Zeiger versehn seyn soll, um die Richtung des Windes auf einer Scheibe zu bezeichnen, trägt oben den an ihr befestigten Quadranten qrh aus dünnem Blech, welcher am oberen Rande durch eine Leiste gesteift ist, die zugleich bei q etwas hervorragt, um zu verhindern, daſs nicht ein plötzlicher, heftiger Windstoſs die sogleich näher zu bezeichnende Tafel über ihn hinausschleudere. Diese quadratische Tafel abcd hängt an zwei gabelförmig vereinten Leisten, von denen nur die eine gh in der Figur sichtbar ist, welche den Quadranten zwischen sich einschlieſsen und mit ihren oberen Enden mittelst eines Zapfens im Centrum desselben um diesen Zapfen drehbar befestigt sind. Wenn nun der Quadrant als Windfahne in die Richtung des Windes gedreht ist, so stöſst dieser lothrecht auf die Scheibe und hebt diese zu einer seiner Stärke proportionalen Höhe, die mittelst der auf dem Rande des Quadranten gezeichneten Grade gemessen werden kann. Man könnte den Apparat im Groſsen ausführen und bei hinlänglicher Gröſse der Ziffern, so wie bei den Zifferblättern der Uhren, auſser der Richtung des Windes auch dessen Stärke messen; PICKERING machte aber die Tafel nur einen Quadratfuſs groſs aus Segeltuch, welches gefirniſst und über einen Rahmen aus vier Leisten ausgespannt war. Der Apparat stand auf einem Piedestal, und der Schirm wurde im Jahre 1744 am 19ten Febr. bis 75° gehoben, als man den Wind durch Sturm bezeichnete, am 25sten bis 79° und am 28sten bis 84°, als man an beiden Tagen heftigen Sturm notirte. Ohne weitere Vorrichtung wird die Tafel bei den nachlassenden Windstöſsen wieder zurückfallen, man könnte dann in jedem Augenblicke die statt findende Gewalt des Windes beobachten, es würden aber allerdings stets unangenehme Oscillationen der Tafel statt finden[2].

Fig. 210.

1 Philosophical Trans. N. 473. p. 9. Tom. XLIII.

2 Nach meinem Dafürhalten würde es bei einer wirklichen Ausführung angemessen seyn, die Tafel nicht zu klein, vorzüglich aber etwas schwer, z. B. bei etwa zwei Quadratfuſs Fläche zwischen 5 und

Um diese zu vermeiden und zugleich das vorgekommene Maximum des Windstofses zu messen, wird der Rand des Quadranten gezahnt, die Tafel hinten aber mit einem leichten Sperrhaken versehn, welcher in die Zähne eingreift und die Tafel jederzeit auf dem höchsten erreichten Stand feststellt, die dann nach dem Auflösen des Sperrhakens, was durch eine Schnur geschehn könnte, wieder in die verticale Lage herabsinkt.

7) Diese ältere Einrichtung haben verschiedene Andere später zu verbessern gesucht. Dahin gehört zunächst Oertel's[1] nur wenig von der ursprünglichen Form abweichender Windmesser. An einer mittelst des Zapfens C oder einer sonstigen geeigneten Vorrichtung drehbaren Stange ist oben die Windfahne A von grofser Fläche angebracht, welche den ganzen Apparat stets in die Richtung des Windes bringt. Unter dieser ist an der Stange B ein horizontaler Stab befestigt, welcher an seinen beiden Enden Vertiefungen hat, in denen sich die zum Halten der flachen Scheibe D dienenden konischen Zapfen ohne merkliche Reibung bewegen. Tiefer herab ist ein Quadrant d befestigt, dessen Bogen um den Mittelpunct der Stange b beschrieben, in Grade getheilt ist und frei durch ein Loch in der Scheibe geht. Unter der letzteren ist ein Sperrhaken angebracht, welcher durch eine schwache Feder zur Vermeidung gröfserer Reibung gegen den Quadranten gedrückt in die Vertiefungen desselben eingreift und die durch den Windstofs gehobene Scheibe in der gröfsten erlangten Höhe feststellt. Ist das Gewicht der Scheibe bekannt, ohne auf ein von Oertel noch vorgeschlagenes, nur störendes Gegengewicht weiter einzugehn, so zeigt Kästner[2], wie aus den Graden ihrer Elevation die Kraft des Windstofses und demnach die Geschwindigkeit des Windes gemessen werden könne, was ich aber

Fig. 211.

10 Pfund wiegend zu verfertigen. Bei gelinden Winden wird eine solche leicht aus ihrer verticalen Lage gedrückt, bei den stärkeren aber vermeidet man dadurch das weite Fortschleudern der Tafel, die bei gröfserer Leichtigkeit über 90 Grade gehoben wird, was zu offenbaren Unrichtigkeiten führt.

1 Gotha'sches Magazin. Th. VI. St. 1. S. 89. Dieser Windmesser ist sehr allgemein bekannt geworden und gilt meistens als erste Erfindung.

2 Ebendaselbst. St. 3. S. 84.

hier übergehe, da wir jetzt bessere Mittel zur Lösung dieser Aufgabe kennen gelernt haben.

Gehler erwähnt noch einen Windmesser, welchen Herrmann[1] in Vorschlag gebracht hat, um in Abwesenheit des Beobachters die Stärke des Windes in jeder Viertelstunde zu kennen. Die einfache Vorrichtung besteht gleichfalls aus einem Brete, welches lothrecht herabhängend durch den Windstofs zu einer mit dessen Stärke proportionalen Höhe gehoben wird. Vermittelst eines Uhrwerkes fällt jede Viertelstunde ein Würfel, auf welchem zugleich gerade diese Zeit bemerkt ist, auf dieses Bret, gleitet auf demselben hinab und fällt in eins der Fächer, welches dem Rande des Bretes gerade gegenüber steht. Solcher Fächer sind vier über einander, das höchste gehört dem stärksten, das niedrigste dem schwächsten Winde zu, und die herausgenommenen Würfel zeigen, zu welcher Zeit einer von diesen wehte. Die Idee ist zwar nicht übel, allein Gehler bemerkt mit Recht, dafs die Würfel nur in einem kurzen Zeitmomente herabfallen, und da das Bret oder die Tafel durch den Wind in bedeutende Oscillationen versetzt wird, so können auf diese Weise keine genauen Resultate erlangt werden, denn der Wind kann z. B. sehr heftig wehn und dennoch das Bret im Augenblicke, wenn der Würfel herabfällt, eine rückgängige Oscillation machen, so dafs das Fach des Würfels einen schwachen Wind angiebt, statt dafs wirklich Sturm herrschte. Es geht dieses aus den unablässigen wellenartigen Stöfsen des Windes hervor, abgesehn von dem Umstande, dafs im Momente des Herabfallens des Würfels die Scheibe des Windmessers in Folge ihrer Oscillation einen Stofs gegen ihn ausüben und ihn dadurch in ein höheres Gefach schleudern könnte.

8) Nach von Dalberg[2] soll die Scheibe nicht herabhängen, sondern vertical aufgerichtet und unten in Angeln drehbar seyn, auch durch eine grofse Windfahne stets dem Winde in

---

1 Mechanischer verbesserter Wind-, Regen- und Trockenheitsbeobachter. Freiberg und Annaberg 1789. 8. Die Schrift ist mir weiter nicht bekannt.

2 Anemomètre proposé aux amateurs de météorologie. Erfurt 1781. Journ. de Physique. T. XVII. p. 438. Gothaisches Magazin. Th. I. St. 1. S. 174.

gerader Richtung entgegengehalten werden. In der Mitte des oberen Randes der Scheibe befindet sich eine befestigte Schnur, welche über eine an der Spindel angebrachte Rolle gezogen bis in das Beobachtungszimmer herabgeht und daselbst mit einem Gewicht versehn ist. Dieses drückt die Scheibe fortwährend gegen die Spindel in die verticale Lage; wenn aber die Gewalt des Windes sie zurückstöſst, so hebt sich das Gewicht zu einer der Stärke dieses Stoſses proportionalen Höhe und zeigt hierdurch die Geschwindigkeit des Windes an, die durch ein eigenes Hebelwerk unmittelbar gemessen werden soll. Eine zugleich angegebene Vorrichtung, um die Richtung des Windes und seine Neigung gegen den Horizont zu messen, kann als nicht eben zweckmäſsig übergangen werden. Uebrigens sind hier nur allgemeine Umrisse angegeben, aus denen man die eigentliche Construction im Ganzen nicht wohl deutlich entnehmen kann. Diese hat einige Aehnlichkeit mit einem, etwas früher bekannt gemachten, dem Erfinder indeſs nicht zur Kenntniſs gekommenen Anemometer von Demenge[1]; beide sind aber so zusammengesetzt, daſs nur eine ausführliche Beschreibung mit vielen Zeichnungen der einzelnen Theile eine Vorstellung davon zu erzeugen vermag, und keiner von beiden scheint mir von so groſser Bedeutung, daſs ich es gerathen fände, diese hier aufzunehmen.

9) Eins der ältesten, einfachsten und eben daher noch immer brauchbarsten Anemometer ist das von Bouguer[2], welches nachher viele Andere, z. B. Nollet[3], Zeiher[4] u. s. w. zum Theil mit einigen unwesentlichen Verbesserungen beschrieben haben. Nach seiner ursprünglichen Gestalt, die ich um so lieber wähle, weil sich alle anderweitige Verbesserungen leicht hinzufügen lassen, bestand dasselbe aus einer quadratischen
Fig. 212. Scheibe A an einer vierkantigen Stange B, welche genau, jedoch mit geringster, durch Frictionsrollen möglichst zu vermindernder Reibung in das hohle vierkantige Parallelepipedum

1 Journal de Physique cet. T. XV. p. 433. Die Abhandlung beschreibt ausführlich die einzelnen Theile und versinnlicht diese durch eine Menge Figuren.

2 Manoeuvre des Vaisseaux. p. 151.

3 Art des Expériences. T. III. p. 62.

4 Novi Comment. Petrop. T. X. p. 302.

CD pafst. In diesem befindet sich eine Spiralfeder, welche die Stange B mit wachsender Kraft zurücktreibt. Weht der Wind gegen die Scheibe A, so treibt sein Druck die Stange B in das hohle Parallelepipedum je nach seiner Stärke tiefer hinein, und die auf der Stange gezeichneten Abtheilungen geben die Stärke dieses Druckes in bestimmten Gewichtstheilen an. Um diese letzteren zu messen, wird der Apparat vertical gestellt, die Scheibe A mit zunehmend schwereren Gewichten belastet, und auf der Stange B bemerkt, wie tief diese hierdurch, das Gewicht der Scheibe selbst mitgerechnet, hineingedrückt wird. Hieraus ergiebt sich dann von selbst, dafs die auf der Stange angemerkten Zahlen den Druck des Windes in eben diesen Gewichten angeben, womit dieser, bei ihm entgegengerichteter Scheibe, die Stange in die Hülse zurückdrückt. Um das Maximum der hierbei ausgeübten Kraft zu finden und auch später abzulesen, wird die Stange auf dem erreichten tiefsten Stande durch einen leichten Sperrkeil festgehalten. Uebrigens ist aber erforderlich, den Windmesser am anderen Ende mit einer gewöhnlichen, sehr grofsen Windfahne zu versehn, damit diese die zum Messen des Druckes bestimmte Scheibe der Richtung des Windes stets lothrecht entgegenstellt[1].

10) Nach Barlow[2] empfiehlt sich dieses Anemometer sehr wegen seiner Einfachheit, und eben deswegen darf man auch immerhin sehr nahe genaue Resultate von demselben erwarten. Aus dieser Ursache hat Regnier[3] dasselbe nach einer zweckmäfsig verbesserten Construction wieder in Vorschlag gebracht. Hier- Fig. 213.
nach ist die Tafel GK von einer gegebenen Dimension beibehalten, welche dem Strome des Windes lothrecht entgegen gerichtet wird. Vermittelst eines zur Steifung dienenden Kreuzes H ist diese an der Stange EB festgemacht, gegen welche die Feder AF drückt, die im gewöhnlichen Zustande gar nicht angespannt ist, um den leisesten Druck des Windes gegen die

1 Ein Anemometer dieser Art liefs Graf Schaafgotsch im Jahre 1830 durch Pinzger verfertigen und auf der Schneekoppe aufstellen. Es zeigt graphisch die Stärke des Windstofses in Pfunden und zugleich die Neigung und Richtung des Windes. S. Kastner Archiv für Chemie und Meteorologie. Bd. III. S. 86.

2 Encyclopaedia metropolitana. Art. *Pneumatics*. T. I. p. 350.

3 Bulletin de la Soc. d'Encouragement. N. 150.

Tafel anzuzeigen, durch das Zurückgedrücktwerden der Scheibe aber widersteht sie diesem Drucke mit wachsender Spannung. Um das dieser gleichkommende Gewicht zu bestimmen, kann man Gewichtstücke auf die in horizontale Lage gebrachte Scheibe legen, oder dieselben an den Ring E hängen, welcher am Ende der Stange angebracht ist. Aus der Zeichnung ersieht man leicht den gezahnten Theil der Stange EB, welcher in ein Getriebe eingreift, an dessen Axe der aufsen angebrachte Zeiger festsitzt. Auf dem äufseren Zifferblatte werden dann die Zahlen gezeichnet, welche den jedesmaligen Gewichten zugehören, und indem der Zeiger dann zugleich einen andern[1] vor sich her treibt, so giebt letzterer zugleich durch seinen Stand die gröfste Intensität an, welche der Wind während einer bestimmten Zeit erreicht hat. Der Kasten, worin sich dieser Mechanismus befindet, kann sehr flach und von bedeutender Gröfse seyn, um zugleich die Windfahne abzugeben, welche die Messungsscheibe der Richtung des Windes lothrecht entgegenhält. Kennte man diese Richtung genau, und bliebe sie eine hinlänglich lange Zeit unverändert, so könnte man dieser den Apparat unter gewissen Neigungen entgegen halten, und auf diese Weise die diesen Winkeln zugehörige Kraft des Windes messen.

11) Inzwischen ist die hier beschriebene Veränderung des ursprünglichen Windmessers nicht neu, vielmehr wurde sie schon früher wirklich und noch obendrein zweckmäfsiger in Ausführung gebracht, als Regnier sie angab, ohne dafs jedoch höchst wahrscheinlich ihm selbst dieses bekannt war. Es läfst sich nämlich nicht verkennen, dafs der Raum, welchen das Ende der Feder beim Zusammendrücken durchläuft, verhältnifsmäfsig klein, ihr Widerstand aber gleich anfangs bedeutend grofs ist; sie verstattet daher nicht, die zunehmende Stärke des Windes in genügenden Abstufungen von der geringsten bis zur gröfsten zu messen, wenn gleich durch den angebrachten Zeiger der durch dessen Spitze durchlaufene Raum vergröfsert wird. Diesem Mangel war abgeholfen bei einem schön gearbeiteten Windmesser, welchen v. Poschmann[2] zu Petersburg

1 Es würde am zweckmäfsigsten seyn, solche oft anwendbare Zeiger durch den Namen *fliegende Zeiger* zu bezeichnen, nach der Analogie des fliegenden Index bei Sextanten und Kreisen.

2 Voigt's Magazin Th. VII. S. 463.

für den Kaiser schon im Jahre 1803 verfertigte. Uebergehn wir hierbei die zugleich gewählte Einrichtung einer Windfahne, deren Stange in einen Kasten herabging, wo nach gewöhnlicher Construction ein Zeiger die Windrichtung angab, eine Magnetnadel aber die Orientirung gestattete, so bestand der Apparat zum Messen der Intensität des Windes gleichfalls aus einer flachen Scheibe, die durch die Luftströmung zurückgedrückt wurde und hierbei den wachsenden Gegendruck einer hinlänglich langen Spiralfeder überwinden mufste. Die Scheibe war gleichfalls mit einer gezahnten Stange versehn, welche ein Getriebe in Bewegung setzte, an desser aufsen hervorragender Axe ein Zeiger befestigt war, um die Intensität des Windes anzugeben.

12) Nicht ganz von gleichem Alter, als der älteste der bisher beschriebenen Windmesser, ist eine andere Classe, bei denen der Wind Räder oder Flügel umtreibt. Diese Art bietet dem Erfindungsgeiste ein weites Feld dar, und man hat daher die hierzu gehörigen Apparate vielfach abgeändert. Einer der ältesten dieser Art ist derjenige, welchen Christian Wolff[1] beschrieben hat. Um die Construction des wesentlichsten Theiles desselben anschaulich zu machen, dient die nur diesen darstellende Zeichnung, wobei zu bemerken, dafs dieser Mechanismus sich in einem flachen Kasten befindet, welcher auf einem Zapfen drehbar selbst schon durch den Wind diejenige Fig.
Richtung annimmt, vermöge welcher die Axe AB, an deren 214.
einem Ende die Flügel lothrecht aufgesetzt sind, dem Winde entgegen gewandt wird, zu welchem Zwecke noch aufserdem hinten eine gröfsere eigentliche Windfahne angebracht ist. Die Axe AB, an deren einem Ende die kleinen Windmühlenflügel genau so, wie an denen gewöhnlicher Windmühlen, befestigt sind, ist mit einer Schraube ohne Ende E versehn, welche in ein gezahntes Rad F eingreift und dieses herumdreht. An diesem sitzt die mit einer ausgehöhlten Furche versehene Stange fest, die als Träger der in der erforderlichen Entfernung von der Axe der Scheibe F eingelegten Kugel L dient. Durch den Druck des Windes gegen die Flügel werden diese und die Axe AB, woran sie festsitzen, umgedreht, die Schraube ohne

1 Elementa matheseos universae. Halae 1743. 4. T. II. p. 405. Elementa astronomiae. 1709.

Ende E dreht das gezahnte Rad F um seine Axe, und diese hebt die an ihr befestigte Stange nebst dem Gewichte L bis zu einer der Stärke des Windstoſses zugehörigen Höhe, und da die Zähne des Rades die Schraube bei abnehmender Gewalt des Windes nicht rückwärts umzudrehn vermögen, die Flügel aber ihre Axe, und somit das gezahnte Rad, bei zunehmender Stärke des Windes weiter umdrehn, so zeigt der Apparat stets das Maximum der Geschwindigkeit, welche der Wind in der verflossenen Zeit erlangt hat. Die Axe des gezahnten Rades ist etwas verlängert und am vorderen Ende mit einem Zeiger versehn, welcher mit der Stange einen rechten Winkel bildet und auf einem auswärts am Kasten angebrachten Quadranten diejenigen Grade von 0° bis 90° angiebt, bis wohin die Stange gehoben wurde. Wolff bemerkt, daſs die Geschwindigkeit des Windes wohl aus diesen Graden entnommen werden könnte, bis dahin seyen aber die Gesetze des Windstoſses noch keineswegs genügend bestimmt, um eine nur annähernd genaue Berechnung darauf zu gründen. Ebendieses Anemometer beschreibt auch Leupold[1] mit einigen Abänderungen, und die Construction desselben liegt auch bei vielen andern, später bekannt gewordenen, dem Wesen nach zum Grunde. Gehler[2] schlägt nicht unzweckmäſsig vor, die Axe der Windmühlenflügel mit einer konischen Spindel, einer sogenannten Schnecke, denen ähnlich, die sich in den Uhren befinden, zu versehn, um die sich beim Umdrehn eine Schnur mit einem geeigneten Gewichte versehn aufwickelt, bis durch deren Anlangen an den zunehmend längeren Hebelarmen der Spindel zuletzt die zu hebende Last mit der Kraft des Windes ins Gleichgewicht kommt. Daſs man diese Spindel mit einem Zeiger, welcher zugleich einen stillstehenden vor sich herschiebt, in Verbindung bringen und somit das Maximum des Windstoſses messen könne, versteht sich von selbst.

13) Auch dieser letztere Vorschlag ist übrigens schon früher von Leutmann[3] gemacht worden, welcher den von Wolff er-

1 Theatrum machin. generale. §. 347. p. 141 sq. Theatrum aërost. Cap. X. p. 301.

2 Wörterb. a. A. Bd. IV. S. 775.

3 Instrumenta meteorognosiae inservientia cet. Wittembergae 1725. 8. p. 116.

ſundenen Apparat dadurch zu verbessern wünschte, hauptsächlich um auch schwächere Winde zu messen. Die angegebene Construction wird ohne Figuren verständlich seyn. Hiernach wählt er eine vertical stehende, oben und unten mit konischen Spitzen in Vertiefungen leicht und mit geringer Reibung bewegliche Axe. Am oberen Ende derselben befinden sich zwei einander parallele, um eine angemessene Höhe von einander abstehende Scheiben, zwischen denen, je nach der Gröſse, acht oder mehrere vertical stehende, sämmtlich nach einer Seite gekrümmte Bleche befestigt sind, die demnach eine Art von Trommel bilden. Indem dann der Wind, von welcher Seite er wehn mag, an den convexen Krümmungen abgleitet, sich dagegen in den gebildeten Höhlungen fängt, treibt er diese Trommel stets nach der nämlichen Richtung um ihre verticale Axe. Die Trommel befindet sich über einem Kasten, in welchem der übrige Mechanismus angebracht ist; sie selbst bietet dem Winde von allen Seiten freien Zutritt dar, indem bloſs zwei vertical aufgerichtete Stangen oben einen Querbalken tragen, in dessen Mitte sich die Vertiefung befindet, worin die obere Spitze der cylindrischen Axe läuft. Einige Zoll unter der oberen Decke des Kastens ist an der Axe die Schnecke mit ihren spiralförmigen Windungen befestigt, um welche sich die Schnur schlingt, bis die gröſseren Radien der Schnecke einen so starken Widerstand leisten, daſs der Wind denselben nicht weiter überwinden kann. Die Schnur läuft von der Schnecke an über eine in verticaler Ebene angebrachte Rolle, dann über eine zweite, gleichfalls verticale, die mit der ersten zwei rechte Winkel bildet, ist dann um eine Trommel geschlungen und am andern Ende mit einem angemessenen Gewichte beschwert. Die Axe dieser Trommel geht durch die eine Seitenwand des Kastens, und trägt an ihrem Ende einen Zeiger vor einer getheilten Scheibe, auf welcher man vom Nullpuncte oder der gänzlichen Windstille, dem Stillstande der Trommel, anfangend die jedesmalige Stärke des Windes abliest. Um aber zugleich das Maximum der Intensität auch dann zu kennen, wenn dieses in der Abwesenheit des Beobachters statt gefunden hat, schiebt der erste Zeiger mittelst eines kleinen Zapfens einen zweiten leicht beweglichen Zeiger vor sich hin und läſst ihn auf derjenigen Stelle stehn, die das jedesmalige Maximum angiebt.

14) Diesem Anemometer läfst sich das von Michael Lomonosow erfundene füglich anreihen, ein *selbstregistrirendes*, welches zwar ausnehmend sinnreich ausgesonnen ist, schwerlich aber den beabsichtigten Zweck in allen Stücken erreichen möchte. Eine Durchschnittszeichnung der wesentlichsten Theile wird zum Fig. 215. Verständnifs genügen. Die an einer hohlen runden Stange befestigte, durch das Blech Q verlängerte Windfahne besteht aus einem flachen Kasten und trägt an ihrem oberen Ende das aus 16 leichten, mittelst der Drähte ccc und gg gesteiften Blechen a, a, a, ... verfertigte Rad, welches durch den Stofs des Windes um seine Axe getrieben wird. An der Axe desselben befindet sich das Getriebe d, welches in ein grofses gezahntes Rad F eingreift, dessen Rückgang die leichte Sperrfeder m hindert. An der Axe dieses Rades befindet sich das Getriebe h, welches in die Zähne eines zweiten Rades M eingreift, wenn dieses durch die stärkere Feder ee dagegen gedrückt wird. Der Kürze halber möge hier nur bemerkt werden, dafs zugleich über eine an der Stange festsitzende Rolle eine mit ihrem einen Ende am Zapfen der Trommel p befestigte Schnur geschlungen ist, deren anderes Ende herabhängt und durch Anziehn das Rad aus der Welle auslöst, um den unteren Mechanismus wieder gehörig zu ordnen. Am Rade M sitzt eine Trommel p, um welche eine Schnur gewickelt ist, die durch die Oeffnung b in die Stange gezogen in dieser herabgeht. Die den Windmesser tragende bewegliche hohle Stange ist möglichst leicht drehbar in der Oeffnung des massiven Stückes TT, welches sich auf der Spitze des Daches befindet und mit dem konischen Fortsatze GG versehn ist, wobei zugleich der Schirm RR dazu dient, den Regen und Schnee von der Oeffnung abzuhalten. Das untere Ende der Stange ruht mit seinem konischen Zapfen in einer Vertiefung des massiven Bodenstückes KK und trägt an einem Arm die (unnöthiger Weise in einen Kasten eingeschlossene) Trommel H, um welche die herabgehende Schnur t viele Male umgewickelt ist. Nimmt man hinzu, dafs über dem Bodenstücke KK die Windrose horizontal ausgebreitet liegt, so übersieht man bald den Gebrauch dieses Anemometers. Zuerst kann man das untere Ende der Stange mit einem Zeiger versehn, welcher die jedesmalige Richtung des Windes angiebt, oder es geschieht dieses schon von selbst durch die Trommel H. Letztere giebt aufserdem, wenn sie auf 0 gestellt ist, mittelst

des kleinen Zeigers n die Umdrehung an, ist aber aufserdem zwischen u und y mit einer gebogenen Glasröhre versehn, worin sich Quecksilber befindet, wovon ein Theil ausläuft, sobald sie durch Umdrehung der Trommel den tiefsten Stand erhalten hat. Hierdurch beabsichtigt Lomonosow Selbstregistrirung zu erhalten. Zu diesem Zwecke ist die Windrose in so viele Fächer getheilt, als man Windrichtungen beobachten will, die Trommel dreht sich um so öfter um, je stärker der Wind weht, und die Quantität des ausgeflossenen Quecksilbers giebt dann die Stärke des Windes, das Gefach aber diejenige Richtung an, aus welcher derselbe geweht hat. Durch Anziehen der oben erwähnten Schnur wird dann das Rad M ausgelöst, die Trommel H während dieser Zeit nach Umwindung seiner Schnur wieder auf 0 gestellt, das Quecksilber auf geeignete Weise wieder in die Röhre gefüllt, und die Feder e e treibt das Rad M gegen das Getriebe, worauf das Spiel des Mechanismus abermals beginnt.

Um das Verhältnifs zwischen der Umdrehung der Trommel H und der Geschwindigkeit des Windes zu finden, bringt Lomonosow das von Bouguer empfohlene Verfahren in Vorschlag. Man mifst zu einer gewissen Zeit mittelst fliegender Flaumfedern die Geschwindigkeit der Luftbewegung, und bemerkt zugleich, um wie viel, vom 0 Puncte an gezählt, sich die Trommel H umdreht. Ist dieses aufgefunden, so ergiebt sich hieraus das Verhältnifs dieser Umdrehungen in einer gegebenen Zeit zur Geschwindigkeit des Windes, wobei vorausgesetzt wird, dafs die Reibung ohne Einflufs ist und die Menge der Umläufe des Flügelrades in einer gegebenen Zeit mit der Geschwindigkeit des Windes im geraden Verhältnisse wächst. Lomonosow's Anemometer ist zugleich ein selbstregistrirendes, und es würde hauptsächlich wegen seiner Einfachheit auf Vorzüglichkeit Anspruch haben, wenn es möglich wäre, die Quantität des bei jeder Umdrehung der Trommel H ausfliefsenden Quecksilbers genau zu moderiren, so dafs nach einer gegebenen Zeit das Mafs der in den verschiedenen Zellen vorhandenen Menge desselben die Zahl der Umdrehungen der Trommel, mithin die Geschwindigkeit des Windes, die Gefächer aber, worin dasselbe angesammelt ist, die Richtung desselben angäben, was immerhin vollkommen genügend seyn würde. Allein es ist kaum abzusehn, auf welche Weise diese Aufgabe gelöst

werden könnte; denn so wie hier angegeben worden ist, muſs nothwendig mehr Quecksilber ausflieſsen, wenn die Trommel sich langsam dreht oder wenn sie gar zufällig in Folge einer eingetretenen Windstille mit ihrer Oeffnung nach unten gekehrt eine Zeit lang still stehn sollte. Inzwischen wäre diesem Uebelstande leicht abzuhelfen, wenn man z. B. in einer Rinne Kugeln herabrollen, allezeit die vorderste in eine seitwärts befindliche Rinne treten lieſse und dann die Einrichtung träfe, daſs diese Kugel bei jeder Umdrehung der Trommel durch einen an derselben befindlichen Stift in das Gefach der Windrose geschoben würde, anderer, nicht eben schwieriger Mechanismen nicht zu gedenken. Bei wirklicher Anwendung müſsten auſserdem die Flügel des obersten Rades gegen Regen und Schnee und den Schmuz sich darauf setzender Vögel durch eine geeignete Bedachung geschützt werden.

15) Dasjenige Anemometer, von welchem am meisten Aufhebens gemacht, welches aber dennoch vermuthlich niemals wirklich ausgeführt wurde, weil es sich allzuweit von der für solche Apparate unentbehrlichen Einfachheit entfernt, ist das durch d'Ons-en-Bray[1] in Vorschlag gebrachte. Die durch sechs groſse Kupfertafeln erläuterte Beschreibung so vollständig mitzutheilen, daſs sie dem Künstler zum Verfertigen desselben genügte, würde für unsern Zweck zu weitläuftig und um so weniger nützlich seyn, als zuverlässig niemand gegenwärtig dieses verlangen wird. Folgende Angaben werden indeſs genügen, um eine allgemeine Vorstellung davon zu erhalten. Das Ganze besteht aus drei abgesonderten Apparaten, die vereinigt eine graphische Darstellung der Richtung und Stärke des Windes für je 24 Stunden geben, was zwar in der Idee sehr anlockend, in der Ausführung aber so complicirt ist und so viele Mühe erfordert, daſs es fast ebenso leicht seyn würde, eben dieses sicherer durch unausgesetzte Beobachtungen zu erreichen. Um die Richtung des Windes zu wissen, dient eine gemeine Windfahne, welche hinlänglich groſs und daher sowohl leicht beweglich, als auch mit genügender Kraft wirkend eine oben vom Dache herab in das Beobachtungs- oder Messungszimmer fortgehende Stange in Bewegung setzt. Unten in diesem Zimmer ist die Stange mit einem starken Cylinder versehn, in welchen in einer schraubenförmig ihn umgebenden Linie 32

1 Histoire de l'Acad. des Sciences. Ann. 1734. p. 123.

Stifte eingeschlagen sind, die zur Bezeichnung der 32 Windrichtungen dienen. Wie sogleich von selbst auffallen muſs, würde eine bedeutende Vereinfachung schon dadurch herbeigeführt werden, wenn man statt dieser 32 nur 16 wählte, was auf jeden Fall genügen würde. An diesem Cylinder, seiner Axe parallel, wird die Fläche eines breiten und sehr langen Streifens Papier vorbeigeführt, und da die einzelnen Stifte vermöge der schraubenförmigen Windung sich in ungleicher Höhe befinden, so streift allezeit, je nach der Drehung der Windfahne, nur einer oder auch zwei Stifte, wenn die Windrichtung in die Mitte zwischen beide fällt, über die Fläche des vor ihnen hingezogenen Papierstreifens. Um aber hierbei das Papier nicht zu zerreiſsen, haben die Stifte eine umgebogene, in einem Scharnier bewegliche Spitze, deren krumme Enden auch beim Rückgange oder bei wiederholten Drehungen des Cylinders nicht in das Papier einhaken können, die aber durch eine kleine Feder gerade genügend angedrückt werden, um einen sichtbaren Strich auf dem Papier zu erzeugen. Das Papier wird nach einer von Winslow angegebenen Verfahrungsweise eigens bereitet, indem man gewöhnliches starkes Schreibpapier mit calcinirtem Hirschhorn einreibt, auf welchem dann die Stifte einen Streif wie von Bleistift zeichnen, und wenn man es nachher wieder abreibt, so kann es wiederholt gebraucht werden. Der etliche Fuſs lange Streif wird auf zwei vertical stehende Walzen gewunden, so daſs er genügend straff angezogen sich gleichzeitig von der einen abwickelt und auf die andere aufwickelt. Beide Walzen werden durch ein Uhrwerk, welches den zweiten Haupttheil des ganzen Apparates bildet, um ihre verticale Axe gedreht, und somit ist ein regelmäſsiges Auf- und Abwickeln gegeben; auch wäre, da die Uhr 30 Stunden gehn soll, hiermit die Zeit von selbst bestimmt; um aber nicht jederzeit durch den Anfang der Bewegung gehindert und um der hierdurch nöthigen Reductionen überhoben zu seyn, ist noch ein zweiter Mechanismus angebracht, vermöge dessen ein kleines Hämmerchen jede Viertelstunde gegen einen federnden Stift schlägt, welcher im oberen Rande des Papierstreifens ein Loch macht, so daſs neben den Strichen, die die Windrichtung anzeigen, auch die zugehörige Zeit durch diese Löcher auf dem Papiere bezeichnet ist. Ob die schon auf diese Weise durchlöcherten Streifen sich zum zweiten oder

gar dritten Male gebrauchen lassen, ohne Verwirrung zu erzeugen, möge auf sich beruhn; es ergiebt sich aber von selbst die grofse Mühe, die das Abnehmen, Einsetzen und Bezeichnen dieser Streifen verursacht, aufserdem aber räth d'Ons-en-Bray, mehrere Walzen mit den gehörigen Streifen in Bereitschaft zu halten, um die einen schneller wegnehmen und die anderen einsetzen zu können, damit keine zu grofse Zwischenzeit verloren gehe.

Um die Geschwindigkeit des Windes zu messen, befindet sich unter der Windfahne eine Trommel (*Moulin à la Polonaise*) von gleicher Einrichtung, als die oben angegebene, von Leutmann empfohlene, die durch den Wind seiner Stärke proportional schneller herumgetrieben wird. Am tiefer herabgehenden Ende der diese Trommel tragenden Axe ist ein gezahntes Rad, welches in ein Getriebe eingreift und dieses herumdreht. Von diesem geht eine Stange in das Beobachtungszimmer hinab, und um hinsichtlich der weiteren Beschreibung kurz zu seyn, wird es genügen zu bemerken, dafs nach der Einrichtung des zugehörigen Räderwerkes 400 Umläufe der Trommel erfordert werden, um einen kleinen Hammer zu heben, der dann gegen einen Stift schlägt und mittelst desselben in einen Streifen Papier an dessen oberem Rande ein Löchelchen bohrt. Diese Papierstreifen sollen 18 bis 20 Fufs lang und 1,5 Zoll breit seyn; sie werden auf gleiche Weise, als die beschriebenen breiteren, von einer Walze auf die andere durch das im Beobachtungszimmer befindliche Uhrwerk gewickelt, und während am oberen Rande derselben die genannten Löcher zum Zählen der Umdrehungen der Trommel eingestochen werden, ist ein dem bereits beschriebenen gleicher Mechanismus angebracht, mittelst dessen am unteren Rande jede Viertelstunde Löcher eingeschlagen werden. So wie daher die breiten Streifen die den Zeiten zugehörigen Windrichtungen graphisch darstellen, geben die schmalen die denselben Zeiten zukommenden Intensitäten. Um aber die den Umdrehungen der Trommel zugehörigen Geschwindigkeiten des Windes aufzufinden, verspricht d'Ons-en-Bray eine Reihe neuer Versuche anzustellen und deren Resultate mitzutheilen, was aber, so viel mir bekannt, nicht geschehn ist.

Man begreift leicht, dafs die sämmtlichen, hier angegebenen Mechanismen im Bereiche der Möglichkeit liegen, und selbst

ihre Ausführung, wenn man die dazu erforderlichen Kosten aufwenden wollte, würde mit keinen bedeutenden Schwierigkeiten verbunden seyn. Wenn man aber namentlich bei dem zuletzt beschriebenen Windmesser den Aufwand von Zeit berücksichtigt, welchen die Präparation des Papiers, das Auf- und Abwickeln desselben auf die Walzen, das Aufziehn und Richten der Uhr und das Eintragen der erhaltenen Linien und Puncte in das Beobachtungsjournal erfordern würden, so steht dieser mit dem erhaltenen Resultate in keinem angemessenen Verhältnisse, denn meteorologische Register von einem und demselben Orte verlieren durch allzugrofse Ausführlichkeit und dadurch erschwerte Uebersicht überhaupt an Werth; zu interessanten und wichtigen Schlüssen gelangt man dagegen nur mittelst nicht zu zahlreicher, aber genauer Beobachtungen, die an verschiedenen, ungleich weit von einander abstehenden Orten gleichzeitig angestellt worden sind.

16) Um die am meisten bekannt gewordenen Windmesser nach ihrer ungefähren Zeitfolge zu ordnen, möge hier derjenige erwähnt werden, welchen Pélisson[1] angab und durch den Uhrmacher Droz verfertigen liefs. Derselbe bestand aus vier kleinen Windmühlenflügeln an einer beweglichen horizontalen Axe, die durch eine geeignete Windfahne jederzeit dem herrschenden Winde entgegengehalten und durch diesen umgetrieben wurden. Die Axe war mit einem Ansatze versehn, welcher bei jedem Umlaufe ein gezahntes Rad mit 100 Zähnen um einen Zahn weiter rückte, wodurch zugleich ein Hammer gehoben wurde, welcher sich nach einer ganzen Umdrehung dieses Rades auslöste und gegen eine Glocke schlug. Hiernach erfolgte bei je 100 Umläufen der Windmühle ein Schlag, und je zahlreicher diese letzteren in einer gegebenen Zeit erfolgten, desto stärker war der Wind. Ein bestimmtes Verhältnifs zwischen der Zahl dieser Umläufe der Windmühle und der zugehörigen Geschwindigkeit des Windes ist indefs nicht angegeben, das Werkzeug war daher mehr eine auf dem Dache des Beobachters angebrachte interessante und amüsante Spielerei, als ein eigentlicher Mefsapparat; obendrein aber wäre eine unausgesetzte Aufmerksamkeit auf die Schläge der Glocke eine allzuviel Zeit raubende Aufgabe.

---

1 Beobachtungen und Entdeckungen aus der Naturkunde von einer Gesellschaft naturforschender Freunde in Berlin. 1790. Th. X.

17) Wenden wir uns zu den neueren, einfacher und zweckmäſsiger construirten Apparaten, die der Messung des Windes gewidmet sind, so zerfallen sie in zwei Classen, deren eine die selbstregistrirenden Windfahnen, die andere die Vorrichtungen zum Messen der Stärke des Windes in sich faſst. Die erste, die Classe der *Anemographen* (welche Bezeichnung ich für richtiger halte, als die gebräuchliche *Anemometrographen*), dürfte die wichtigste seyn, denn die Kenntniſs der Windrichtungen und ihrer Wechsel ist für die Einsicht der Windverhältnisse bei weitem am wesentlichsten, und da es einen allzugroſsen Aufwand von Zeit und Mühe erfordert, unausgesetzt bei Tage und bei Nacht zu beobachten, so muſs es allerdings als sehr wünschenswerth erscheinen, dieser zeitraubenden Anstrengung überhoben zu seyn und dennoch die wechselnden Windrichtungen genau zu kennen. Die Stärke oder vielmehr die Geschwindigkeit des Windes zu messen ist nur in einzelnen Fällen, namentlich bei heftigen Stürmen, in wissenschaftlicher Hinsicht wichtig, um die Wirkungen desselben mit bestehenden mechanischen Gesetzen in Einklang zu bringen; eine fortdauernde, durch künstliche Apparate zu erreichende Aufzeichnung der Stärke des Windes dürfte dagegen als ein minder nöthiger Luxus erscheinen. Wir wollen daher die vorzüglichsten, für beide Zwecke gemachten Vorschläge zusammenstellen und dabei der ersten Classe die gröſste Aufmerksamkeit zuwenden, um so mehr, da gegenwärtig gegründete Hoffnung vorhanden ist, durch correspondirende Beobachtungen die Gesetze der Meteorologie genauer zu ergründen, wobei die Wechsel der Windrichtungen von sehr groſser Bedeutung sind.

18) Der früheste, sehr zweckmäſsige und bei der Ausführung als brauchbar bewährte Anemograph, welchen LANDRIANI[1] auf seinem Observatorium in Mailand errichtete, ist mit Hülfe einer Zeichnung seiner wesentlichsten Theile leicht zu verstehn. Zur Verminderung des Raumes ist die Windfahne, welche aus einem hinlänglich langen, durch eine Kugel als Gegengewicht balancirten Bleche besteht, weggelassen. Diese gewöhnliche Fahne ist an einer hinlänglich langen, in das Beobachtungszimmer herabgehenden, eisernen Stange NN fest-
Fig. 216. sitzend, die, wie gewöhnlich, mit ihrer unteren stählernen

1 Gothaisches Magazin. Th. XI. S. 93.

Spitze leicht beweglich in einer konisch ausgehöhlten Vertiefung einer Scheibe von Glockenspeise ruht. Am unteren Theile dieser Stange sind für die acht Windrichtungen eigenthümlich construirte Hebelarme aufgeschraubt, deren Beschaffenheit aus der Zeichnung im vergröfserten Mafsstabe leicht hervorgeht. Ein eiserner Ring ww dient dazu, sie auf die Stange zu schieben und bequem in die erforderliche Richtung zu bringen, wo sie vermittelst der Klemmschraube h unbeweglich festgestellt werden. Gegenüber ist ein hohler Cylinder angebracht, in welchen ein Stab mit einem Bogenstücke r,r gesteckt und mittelst der Klemmschraube t gleichfalls festgestellt wird. Dieser horizontal liegende, an den Enden etwas aufwärts gekrümmte Bogen mifst gerade einen Octanten, und man kann sich leicht vorstellen, dafs, wenn deren acht in einer Schraubenlinie auf der eisernen Stange in gehörigem Abstande aufgesteckt werden, diese Bogen im Ganzen einen Kreis bilden. Jeder von ihnen gehört somit zu einer der acht Windrichtungen und mufs durch die Drehung der Windfahne von selbst dem Mefsapparate des Windes gegenüber zu stehn kommen. Es würde überflüssig seyn, sie alle in ihren verschiedenen Stellungen zu zeichnen, und es genügt vielmehr, dieses nur bei einem zu thun. Der zum Aufzeichnen der Windrichtungen dienende Apparat besteht aus dem Rahmen ACB, dessen untere Stange D in einer Hülse auf und ab verschiebbar ist und durch eine Klemmschraube in der gehörigen Höhe festgestellt wird. Durch diesen Rahmen gehn die horizontalen vierkantigen Stäbe p, p, p, ... mit Hülsen a, a, a, ... an ihren Enden, durch welche die verticalen Stäbe l, l, l, ... gesteckt werden, die als Träger der Zeichenstifte dienen. Die Hülsen a, a, a, ... sind entweder federnd, um diese Träger in beliebiger Höhe festzustellen, oder Letzteres geschieht mittelst Klemmschrauben, was Landriani wählte, mir aber minder zweckdienlich scheint. Die horizontalen Stäbe sind in dem Schenkel AC des Rahmens mittelst durchgesteckter Stifte beweglich, ruhn aber auf schwachen Federn im andern Schenkel BC, die zwar die Berührung der Zeichenstifte mit der Glastafel nicht hindern, wohl aber ihren Druck auf dieselbe bei allen Stäben gleichmachen und hauptsächlich bei den längeren ein zu gewaltsames Auffallen verhüten. Bringt der Wind mittelst der Drehung der Stange NN einen der Bogen über das

Fig. 217. (margin, beside "schieben")

Fig. 216. (margin, beside "Windrichtungen dienende")

Ende p eines der Stäbe, so wird der kürzere Hebelarm niedergedrückt, die Zeichenspitze aufser Berührung mit der Glastafel gesetzt, und die dieser zugehörige Windrichtung wird daher nicht gezeichnet, was so lange dauert, als der Bogen r den Hebelarm niederhält. Entfernt sich der Octant von dem ihm zugehörigen Hebelarme, so fällt der Zeichenstift wieder auf die Scheibe herab, gleichzeitig mufs dann aber ein anderer Octant den ihm zugehörigen Hebelarm niederdrücken, wobei das Hinauf- und Herabgleiten der Octanten auf die Hebelarme leicht erfolgt, weil die ersteren an beiden Enden etwas aufgebogen sind, so dafs auch ein Rückgang der Windrichtung auf gleiche Weise mit Sicherheit bezeichnet wird.

Die Tafel MM ist kreisrund, liegt genau horizontal und kann mittelst einer Stellschraube herabgelassen, dann unter den Stiften weggezogen und gereinigt werden. Sie besteht aus etwas dickem Spiegelglase, und ist auf einem Zapfen befestigt, welcher in einer Hülse steckend mittelst eines Uhrwerks binnen 12 Stunden einmal herumgedreht wird, so dafs die Scheibe sich gleichfalls in horizontaler Ebene binnen dieser Zeit einmal ganz herumdreht. Auf ihrer oberen Seite ist sie mit Schmirgel matt geschliffen, damit auf dieser rauhen Fläche die Zeichenstifte sichtbare Linien zurücklassen. Durch sieben concentrische Kreise ist sie in acht Ringe getheilt, deren jeder einer der acht Windrichtungen zugehört, die auf der Scheibe gehörig bezeichnet sind. Aufserdem ist die Scheibe in 12 Sectoren getheilt, jeder derselben einer Stunde zugehörig, der Bogen jedes Sectors ist aber wieder in 30 Theile getheilt, deren jeder also einem Zeitabschnitte von zwei Minuten zugehört, so dafs man von zwei zu zwei Minuten die in jeder Stunde vorgekommene Windrichtung erkennt.

Hiernach ist die ganze Einrichtung leicht verständlich und es braucht kaum erinnert zu werden, dafs man einen jeden der Ringe mit ihren Bogen auf der Windfahnenstange in diejenige Stellung bringen müsse, vermöge welcher der ihm zugehörige Stift den auf der Scheibe hiernach bezeichneten Streifen trifft. Dieses ist leicht zu bewerkstelligen; denn da die Ringe in einer Schraubenlinie ganz um die Stange herumgehn, so darf man nur z. B. den obersten Ring so stellen, dafs bei genauem Nordwinde die Mitte seines Octanten den obersten Hebelarm niederdrückt, wenn der dem Centrum der Scheibe nächste Streif

mit Nord bezeichnet ist. Für die normale Drehung des Windes würde dann der zweite Ring der Richtung NO. zugehören u. s. w., wenn die folgenden Streifen in dieser Ordnung bis zum äufsersten für NW. ebenso bezeichnet sind. Eine rückgängige Drehung des Windes schadet hierbei nichts, denn die Bogen der Octanten sind an ihren beiden Enden etwas aufgebogen, so dafs sie nach jeder Seite hin über die kurzen Hebelarme fortgleiten und diese niederdrücken. So weit ein Strich auf der Scheibe fehlt, herrschte während der Zeit der diesem Streifen zugehörige Wind und das Diarium der Windrichtungen kann hiernach leicht geführt werden.

So weit dürfte der Apparat seinem Zwecke vollkommen angemessen seyn, vorausgesetzt, dafs die Stifthalter l, l, l, ... vermöge ihrer Länge durch den Widerstand beim Zeichnen nicht aus ihrer verticalen Lage kommen, was dadurch zu erreichen steht, dafs man sie so kurz, als möglich, herrichtet, und solche Zeichenstifte wählt, die leicht über die Scheibe hingleiten, dennoch aber einen sichtbaren Strich erzeugen[1]. Landriani hat noch einige Einrichtungen angebracht, die mir minder wesentlich für den Hauptzweck und mehr für eine elegante Darstellung bestimmt zu seyn scheinen. Bleistift giebt schwer kenntliche Linien auf matt geschliffenem Glase, weicher Rothstift (Röthel) dagegen leicht kenntliche, doch müfste erst untersucht werden, ob dieses auch dann der Fall ist, wenn ein so geringer Druck gegen die Fläche statt findet, dafs die Stäbe sich dadurch nicht biegen. Landriani wählte statt dieser Stifte unten sehr enge zulaufende, mit farbiger Tinte angefüllte, konische Röhren, aus denen die Flüssigkeit für sich nicht ausflofs, wohl aber auf der Scheibe einen Strich zurückliefs. Die Idee ist nicht verwerflich, wenn es gleich der verschiedenen Färbungen nicht bedarf, welche vom Erfinder der Eleganz wegen gewählt wurden. Der gegebenen Anweisung nach soll man

1 Es liefse sich dieses durch eine Strebeleiste erreichen, die an der Seite angebracht werden müfste, wohin sich die Scheibe dreht. Sie dürfte die Stifthalter nur kaum berühren, würde also nicht das Heben derselben, was ohnehin mit bedeutender Kraft geschieht, auf keine Weise aber ihr Herabsinken, wohl aber ihr Ausweichen in Folge der Reibung auf der Scheibe hindern. Der Deutlichkeit wegen ist diese Strebeleiste in der Zeichnung durch eine punctirte Linie angedeutet.

aufserdem den ganzen Rahmen ACB in seiner Hülse in die Höhe ziehn und mittelst einer Stellschraube feststellen, dann die gezeichnete Scheibe flach auf den Tisch legen, mit einer gleich grofsen Scheibe genäfsten Papiers bedecken und dieses mittelst eines weichen Ballens andrücken, damit die gezeichneten Linien sich darauf abdrucken, zu welchem Ende die Glasscheibe mit einem Firnifs überzogen werden mufs. Dieses gewährt zwar einen angenehmen Anblick, allein es führt den bei meteorologischen Registern einzelner Orte so gewöhnlichen wesentlichen Nachtheil herbei, dafs sie wegen zu grofser Ausführlichkeit an Leichtigkeit der Uebersicht verlieren und zugleich zu kostbar werden, als dafs die Meteorologen von Fach sie anschaffen könnten. Die beste Methode des *Aufzeichnens der Windrichtungen* bleibt immer die von Ross gewählte, wonach man in der ersten Verticalcolumne die Tage bemerkt, diesen acht Columnen für die acht Winde anreiht, die durch die Ueberschriften bezeichnet werden, und unter diesen die Zahl der Stunden bemerkt, während welcher die genannten Winde herrschten, wonach dann die in einer jeden horizontalen Reihe angegebenen Stunden allezeit zusammenaddirt 24 geben müssen. Bedient man sich für diesen Zweck des hier beschriebenen Anemographen, so würde erforderlich seyn, zwei gleiche Glasscheiben bereit zu haben und nach Wegnahme der einen sogleich die andere einzusetzen, nachher aber die Eintragung der Resultate der ersteren in das Register vorzunehmen. Geschieht das Zeichnen der Linien mit Rothstift, so lassen sich dieselben durch Abwischen mit einem nassen Läppchen leicht wegnehmen, und die Scheibe ist zum wiederholten Einsetzen wieder hergestellt.

19) Durch die Bekanntwerdung dieses Anemographen wurde Parrot[1] der Aeltere zu der Anzeige veranlafst, dafs er schon früher einen ähnlichen Apparat sowohl im Kleinen als auch im Grofsen habe ausführen lassen. Die Einrichtung war ungefähr die nämliche, jedoch hatte der Apparat 16 Claves, und statt der Octanten Rollen, die über die Hebelarme hinglitten und hierdurch den Wechsel der Windrichtungen anschaulicher darstellten.

20) Neuerdings haben insbesondere die Engländer grofsen

---

1 Voigt's Magazin. Bd. I. St. 2. S. 144.

Fleifs auf die Verbesserung der selbstregistrirenden Anemoskope verwandt. Um die vorzüglichsten derselben hier anzugeben, möge zuerst das von Traill[1] erwähnt werden, wovon er die erste Notiz bei der Versammlung der Naturforscher zu Hamburg im Herbst 1830 mittheilte. Dasselbe besteht in seiner einfachsten Gestalt aus einer gewöhnlichen Windfahne b an einer metallenen Stange aa, die bei gröſserer Länge der leichteren Beweglichkeit wegen zwischen Frictionsrollen oder, wenn sie kürzer ist, in geeigneten Ringen umläuft. Am unteren Ende ist sie mit einem stählernen Kegel versehn, welcher auf einem Feuersteine mit einer Vertiefung, wie sich solche oft bei diesen Fossilien finden, ruhet. Letzterer wird in der Mitte einer gewöhnlichen runden Schreibschieferplatte befestigt, auf deren äuſserem Rande die Windrichtungen eingegraben sind. Etwa vier Zoll über dieser Tafel ist der horizontale Arm c befestigt, welcher die federnde Hülse d trägt, in welche ein Schieferzeichenstift eingesetzt wird, welcher beim Drehen der Windfahne und ihrer Stange die Windrichtung aufzeichnet, und um hierbei den erforderlichen Druck zu erhalten und diesen gehörig zu mäſsigen, dient das verschiebbare Gewicht e auf dem horizontalen Arme. Findet man es unbequem, die Windrichtung auf diese Weise kenntlich zu machen, so empfiehlt Traill eine andere ältere, oben §. 3 bereits erwähnte Einrichtung, von welcher wir hier der Vollständigkeit wegen gleichfalls eine Zeichnung mittheilen, mit dem Bemerken, daſs die Vorrichtung nach den vorhandenen Localitäten beliebig abgeändert werden kann, wenn nur im Allgemeinen die Lage des Zeigers in einer verticalen Ebene beibehalten wird. Die Stange aa tritt hiernach bei d in einen Kasten und ist mit einem horizontalen gezahnten Rade e versehn, dessen Zähne in die eines zweiten vertical stehenden c eingreifen, und da beide gleich groſs sind, so werden sie auch gleich viele Umläufe machen. Die Axe des zweiten Rades geht durch die Wandung des Kastens und ist an ihrem Ende mit einem Zeiger versehn, welcher vor einer porzellanenen Scheibe umläuft, auf deren Rande die Windrichtungen gezeichnet sind. Anfangs versah Traill das eine Ende f dieses Zeigers mit einer Hülse und einem

Fig. 218. Fig. 219.

1 Edinburgh New Philos. Journ. N. XXXV. p. 193. Genauer beschrieben N. XLIV. p. 313.

darin steckenden Bleistift, welcher auf der Porzellantafel einen feinen, aber sehr kenntlichen Strich zog; weil sich aber die Spitze des Stiftes abnutzte und dann nicht mehr zeichnete, so schien es zweckmäfsiger, zwei registrirende Zeiger g, g anzubringen, welche die äufsersten Grenzen der statt gehabten Windrichtungen angaben. Es scheint indefs, als habe Traill sich durch diese Schwierigkeit zu schnell abschrecken lassen, da sie doch sehr leicht zu überwinden wäre, wenn man dem Zeigerarme f eine leichte Feder hinzufügte, die den eingesteckten Stift ungefähr mit der nämlichen Kraft gegen die verticale Scheibe drückte, als bei dem vorhin beschriebenen einfachen *Anemographen* das Gewicht e den horizontalen Arm gegen die horizontale Scheibe drückt. Man könnte bei dieser Einrichtung statt des porzellanenen Zifferblattes gleichfalls eine Schiefertafel wählen, wenn die Linien auf dieser sichtbarer werden. Eine Erweiterung des Apparates, wonach mittelst eines zweiten gezahnten Rades noch aufserdem vier Umläufe der Windfahne gemessen werden können, halte ich für überflüssig, im Einzelnen zu beschreiben, da doch, wie Traill richtig bemerkt, täglich mindestens einmal nachgesehn werden mufs und der Wind schwerlich jemals binnen 24 Stunden mehr als einen ganzen Umlauf machen wird, es sey denn bei einem heftigen Sturme, in welchem Falle man ohnehin öfter beobachten müfste, um die Zeit der Aenderungen genauer zu erforschen. Um das Hineinfallen des Staubes in den Kasten zu verhüten, ist mit Fig. 220. der Stange der Windfahne ein kleines Schutzdach verbunden, welches aus der blofsen Zeichnung deutlich wird. Bei dem eleganten, von Traill vorgezeigten kleinen Apparate, dessen Stange von Messing war, dürfte diese Vorrichtung wegen der Feinheit der Räder schon zur Sicherung gegen Staub nothwendig seyn, würde aber die Vorrichtung im Grofsen ausgeführt, wozu sie sich sehr gut eignet, so erfordert die Sicherung gegen Regen und Schnee dieses Schutzmittel nothwendig.

21) Der Vollständigkeit wegen möge noch ein Anemoskop erwähnt werden, wovon schwerlich später Gebrauch gemacht wurde. Dasselbe ist von B. M. Foster[1] angegeben worden und dazu bestimmt, die durch Windfahnen nicht wohl mefsbaren schwachen Luftströmungen zu messen. Veranlassung hierzu

1 Edinburgh Journal of Science. N. XVII. p. 167.

gab das bekannte Verfahren der Jäger, die für diesen Zweck einen benetzten Finger vertical in die Höhe halten und die Windrichtung aus dem Streifen an dessen Oberfläche erkennen, welcher eine mit der Stärke des Windes zunehmende empfindliche Kälte zeigt, weil die stets neu herbeigeführte Luft die Verdampfung befördert und daher den Streifen, welcher in der Richtung der herrschenden Luftströmung liegt, am stärksten erkaltet. Dieses Mittel ist in der That sehr zweckmäſsig, es leistet wirklich alles, was man bei der Einfachheit desselben erwarten darf, und es wäre daher am angemessensten, dasselbe unverändert beibehalten; statt dessen soll man einen sechseckigen (warum nicht lieber einen achteckigen nach den acht Windrichtungen?), der Zeichnung nach etwa 3 Zoll hohen und 8 Z. weiten Kasten nehmen, in die sechs Seiten desselben runde Löcher schneiden und diese mit benetztem Flieſspapier überkleben. Von diesen Scheiben werden diejenigen am schnellsten trocknen, welche der herrschenden Windrichtung entgegenstehn, und aus ihrer ungleichen Trockenheit soll dann auf diese Windrichtung geschlossen werden. Wenn man aber berücksichtigt, wie schwer es halten würde, bei den sechs einzelnen Papierscheiben einen gleichen Grad der Benetzung zu erreichen, wie unmöglich aber ein eigentliches Trockenheitsmaſs zu erhalten wäre, abgerechnet daſs unter geeigneten Umständen das Austrocknen aller Scheiben in sehr kurzer Zeit erfolgen könnte, so muſs die groſse Mühe auf der einen Seite und die geringe Schärfe der Messung auf der andern nothwendig von der wirklichen Ausführung abhalten.

Brewster[1] meint, das Instrument lieſse sich sehr verbessern, wenn in jeder der Oeffnungen ein das Minimum der Temperatur registrirendes, mit nassem Papier bedecktes Thermometer angebracht würde, um nach einer gegebenen Zeit hierdurch über das Verhalten der Winde urtheilen zu können. Auf diese Weise könne man auch in Abwesenheit des Beobachters über die Veränderungen der Windrichtungen, und was in dieser Beziehung während einer gegebenen Zeit vorgegangen sey, Auskunft erhalten. Die Kugeln der Thermometer könnten durch irgend eine geeignete Vorrichtung leicht fortdauernd naſs erhalten werden; man könne auſserdem auch eine gröſsere Zahl

1 In einer Anm. a. a. O.

Thermometer vereinigen und eins derselben gegen jeden Einfluſs des Windes schützen, um hiermit die übrigen zu vergleichen. Es bedarf indeſs wohl kaum der Mühe, ungeachtet der bedeutenden Autorität des Urhebers auch dieser letzteren Vorrichtung, die groſsen Schwierigkeiten geltend zu machen, die der Ausführung dieser Idee im Wege stehn und sie bis zur gänzlichen Unbrauchbarkeit herabsinken machen. Unter andern dürften die Löcher hierbei nicht offen seyn, weil sonst der durchstreichende Wind zwei gegenüberstehende Thermometer afficiren würde, das benetzte Papier würde dabei wegfallen und man erhielte einen bloſsen kantigen Kasten. Denken wir aber den letzteren sechseckig und den Wind in einer gewissen Richtung wehend, so würde er die normal getroffene und die beiden dieser zunächst liegenden Seiten ohne Zweifel auf gleiche Weise afficiren, weil er an den letzteren freier hinstreicht, vor der ersteren aber sich aufstauet. Hierbei ist die Kostbarkeit eines solchen Apparates und die gänzliche Unbestimmtheit der Zeit, wann der abkühlende Wind wehte, noch gar nicht berücksichtigt, nicht zu gedenken, daſs so schwache Winde, die die leichteste Fahne zu drehn unvermögend sind, kaum von einigem Interesse seyn dürften.

22) Charles Atherton[1] hat einen Anemograph in Vorschlag gebracht, welcher zugleich mit einem zum *Messen der Fluthhöhen* bestimmten Apparate verbunden ist. Letzterer macht den Hauptheil aus und besteht aus einem Kasten, welcher durch das steigende Niveau des Meeres gehoben wird, während ein Stift auf einer durch ein Uhrwerk um ihre Axe gedrehten Scheibe diese Höhen aufzeichnet. Eben dieses Uhrwerk bewegt eine zweite Scheibe, auf welcher ein durch die Windfahne bewegter Pinsel insbesondere die Unruhe und den häufigen Wechsel der Winde darstellt. Dem Wesen nach liegen bei dem letzteren keine anderweitig nicht schon bekannten Mechanismen zum Grunde, und ich glaube mich daher einer ins Einzelne eingehenden Beschreibung überheben zu können.

Bloſse *Anemographen* oder solche mechanische Vorrichtungen, welche die wechselnden Windrichtungen aufzeichnen, sind so einfach in ihrer Construction, daſs die hierzu erforderlichen mechanischen Vorrichtungen dem Erfindungsgeiste kein weites

1 Edinburgh New Philos. Journ. N. XXXVI. p. 311.

Feld eröffnen, und nach dem hierüber Mitgetheilten kam man daher stets wieder mit unbedeutenden Abänderungen auf die früheren Vorschläge zurück. Aufserdem ist die Selbstregistrirung der Windrichtungen, einzelne besondere Ausnahmen abgerechnet, eigentlich nur ein Luxus, denn für die Meteorologie genügt es, wenn eine gute Windfahne nur ein oder etliche Male täglich beobachtet wird, und geht dann ein Zeiger der bewegten Stange in das Beobachtungszimmer herab, so verursacht es keine grofse Mühe, in einzelnen Fällen, namentlich bei Stürmen, jenen regelmäfsigen Beobachtungen auch einige nächtliche hinzuzufügen. Ungleich schwieriger ist die Aufgabe, die Stärke des Windes und die dieser zugehörige Geschwindigkeit der Luftbewegung zu messen, die für diesen Zweck gemachten Vorschläge beziehn sich meistens nur auf die Messung an sich, und man würde zufrieden seyn, wenn nur diese, ohne Selbstregistrirung, hinlänglich genau zu erhalten wäre. Wir wollen daher die neuerdings hierfür in Vorschlag gebrachten Einrichtungen etwas näher betrachten.

23) Mit Recht müssen wir hierbei Lind's Windmesser an die Spitze stellen, welcher hierauf durch seine Zweckmäfsigkeit und die geraume Zeit, die seit seiner Erfindung verflossen ist, die gerechtesten Ansprüche hat. Höchst wahrscheinlich, beinahe gewifs, ist Lind nicht der eigentliche Erfinder dieses Apparates, sondern Dr. Hales, welcher sich viel damit beschäftigte, die Geschwindigkeit der aus den Düsen der Blasebälge strömenden Luft zu messen[1]. In Gemäfsheit dieser Untersuchungen giebt er an[2], man könne die Geschwindigkeit der ausströmenden Luft messen, wenn man vor die Oeffnung der Düse ein leichtes Ventil an biegsamen ledernen Streifen aufhinge, welches dann nicht selten von der verticalen Richtung in eine mehr als horizontale gebracht werde. „Es giebt aber," fährt er fort, „noch ein anderes und zwar genaueres Mittel, die Geschwindigkeit der Luftströmung zu messen, nämlich wenn „man die Oeffnung eines mit Wasser gefüllten Hebers der Luftströmung entgegenhält, in welchem Falle dann das Wasser „im einen Schenkel herabgedrückt, im andern gehoben werden „wird, im Verhältnifs der Kraft, womit das Wasser durch den

1 Statical Essays. T. II. p. 326.
2 Description of Ventilators. 1743. p. 12.

„Luftstrom gestofsen wird." Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dafs der von Lind[1] angegebene sogenannte tragbare Windmesser ganz einfach und unmittelbar auf dieses Princip gegründet sey. Derselbe ist nachher sehr häufig beschrieben worden[2], alle spätere Schriftsteller sind hierbei aber, wie bei der Bestimmung des Verhältnisses zwischen dem Unterschiede des Wasserstandes in den beiden Schenkeln des Instrumentes und der diesem zugehörigen Geschwindigkeit des Windes, der Autorität Hutton's[3] gefolgt, dessen Darstellung ich daher gleichfalls hier zum Grunde lege.

Fig. 221. 24) Der *Lind'sche Windmesser*, nach seiner ursprünglichen, stets unverändert beibehaltenen Gestalt, besteht aus zwei einander parallelen Glasröhren AB und CD, die nicht kürzer als 8 bis 9 Zoll lang, 0,4 Zoll weit und unten durch eine gebogene Glasröhre DB von nur 0,1 Zoll Weite verbunden seyn sollen, um bei heftigen Windstöfsen zu grofse Schwankungen der Wassersäule zu vermeiden[4]. Auf das obere Ende

---

1 Philosoph. Trans. 1775. T. LXV. p. 353.

2 Barlow in Encyclopaedia metropolitana. Pneumatics. p. 349. Robison Mechanical Philosophy. T. III. p. 707. Wollaston construirte hiernach sein Differentialbarometer. S. Art. *Meteorologie*. Bd. VI. S. 1856. Fechner Repertorium. Bd. I. S. 125. G. G. Schmidt Hand- u. Lehrbuch der Naturlehre. Giefsen 1826. S. 220 u. a. m.

3 Mathematical Dictionary. Art. *Anemometer*. T. I. p. 116.

4 Da ich diesen Apparat zwar gesehn, aber nie anhaltend beobachtet habe, so getraue ich mir nicht, hierüber ein gründliches Urtheil zu fällen. Der Theorie nach ist die Weite der Röhren, die als communicirende zu betrachten sind, willkürlich; da aber die Erfahrung lehrt, dafs die der Geschwindigkeit des Windes zugehörige Kraft seines Stofses mit der Gröfse der Flächen, die er trifft, wächst, so dürfen sie hiernach nicht zu weit seyn, wodurch auch aufserdem das Instrument zu schwerfällig werden würde. Die angegebene Weite von 0,4 engl. Zoll dürfte daher genügen, doch bin ich überzeugt, dafs man sicher auch 6 bis 10 Par. Linien weite Röhren unbedenklich wählen könnte. Die enge Zwischenröhre hindert allerdings die zu heftigen Oscillationen; da aber der Wind, hauptsächlich bei Stürmen, heftige und sehr kurze Zeit dauernde Stöfse ausübt und es nicht unwichtig ist, gerade die diesen zugehörige Geschwindigkeit der Luftströmung kennen zu lernen, so wirkt hierbei die enge Zwischenröhre offenbar hemmend und hindert das Wasser, die der Geschwindigkeit des Windes zugehörige Höhe im andern Schenkel schnell genug zu erreichen. Hiernach würde ich es angemessen finden, die Röhre blofs heberförmig umzubiegen,

der Röhre A ist eine rechtwinkelig gebogene metallene Fassung aufgesetzt, deren horizontale Oeffnung den lothrecht auf sie stoſsenden Wind auffängt. Die beiden Schenkel sind an einer verticalen eisernen Stange KL mittelst zwei messingner Oehre e und f so befestigt, daſs der Wind das ganze Instrument leicht in diejenige Richtung dreht, vermöge welcher die Oeffnung ihm entgegensteht. Das flache Instrument bildet hiernach also selbst die Windfahne; besser ist aber, wenn man noch ein hierzu dienliches Blech oder nach der oben (§. 2) beschriebenen Einrichtung zwei in einem geeigneten Winkel zusammenstoſsende Bleche anbringt, die dem Windmesser stets die erforderliche Richtung geben. In die Glasröhren wird Wasser gegossen, so daſs beide ungefähr zur Hälfte angefüllt sind; am geeignetsten wäre es wohl, gerade so viel Wasser hineinzugieſsen, daſs bei völliger Windstille, oder wenn der Wind nicht in die Oeffnung blasen kann, was sehr leicht, unter andern durch Umdrehung des Instrumentes um 90 Grade erreicht wird, das Niveau in beiden Schenkeln mit dem Nullpuncte der Scale zusammenfiele. Man übersieht aber bald, daſs die Höhe des Wassers, wenn sie nur nicht bedeutend über die Hälfte der Röhrenlänge hinausgeht, von keinem wesentlichen Einflusse seyn kann. Das Instrument kann entweder unbeweglich befestigt werden, oder es wird mittelst der unten an der Spindel befindlichen Schraube in ein Postement eingeschraubt, und soll nach der Absicht des Erfinders eigentlich tragbar seyn. Zwischen den beiden Schenkeln der Röhre befindet sich eine in Zolle und Linien getheilte Scale, die ihren Nullpunct in der Mitte hat und auf welcher von hier an nach beiden Seiten hin auf- und abwärts gezählt wird, wie bei den Heberbarometern. Bläst dann der Wind in die Oeffnung F der Fassung aus dünnem Messingblech, so drückt er das Wasser im einen Schenkel herab, im andern hinauf, und der Unterschied des Niveaus giebt die Höhe einer Wassersäule, deren

---

überall aber eine gleiche Weite um so mehr beizubehalten, als die Beweglichkeit tropfbarer Flüssigkeiten in Röhren durch Biegungen ohnehin gehemmt wird, und ein Herausschleudern des Wassers aus der Röhre, wenn diese eine angemessene Höhe von 12 bis 14 Zoll hat, durchaus nicht wahrscheinlich ist, im Fall des Eintretens aber gar nicht wesentlich nachtheilig seyn würde.

Gewicht der Gewalt oder dem Momente des gegen eine gleich grofse Fläche blasenden Windes gleich ist.

25) Halten wir uns bei diesen Bestimmungen zunächst an das, was Hutton in englischem Mafse angegeben hat[1], so wiegt ein englischer Kubikfufs Wasser 1000 Unzen oder 62,5 Pfund. Der zwölfte Theil hiervon, welcher somit der Höhe eines englischen Zolles zugehört, beträgt $5\frac{5}{24}$ oder nahe 5,2 Pfund, und die Gewalt, wodurch das Wasser um einen Zoll gehoben wird, gehört daher einem Drucke des Windes von 5,2 Pfund gegen einen Quadratfufs Fläche zu. Betrüge also der an der Scale abgelesene Unterschied des Niveaus in beiden Schenkeln 3 Zoll, so würde der diesen bewirkende Wind $3 \times 5{,}2 = 15{,}6$ Pfund Druck gegen einen Quadratfufs ausüben. Die diesem Drucke zugehörige Geschwindigkeit läfst sich auf folgende Weise finden. Aus den (oben in den Art. *Widerstand* und *Wind* erwähnten) Versuchen, welche Hutton in den Jahren 1786, 1787, 1788 in der königl. Militairakademie zu Woolwich anstellte, ging als Resultat hervor, dafs der mit 20 Fufs Geschwindigkeit wehende Wind gegen einen Quadratfufs Fläche einen Druck von 12 Unzen oder 0,75 Pfund ausübt und dafs seine Gewalt den Quadraten der Geschwindigkeiten nahe proportional ist. Nimmt man also die oben gefundene Kraft von 5,6 Pfund als diejenige, welche der Wind äufsert, wenn er das Wasser um 3 Zoll Höhe erhebt, so giebt die Gleichung

---

1 Die Abhandlung von Lind enthält blofs eine Tabelle über die Stärke des Druckes, welchen der Wind gegen 1 engl. Quadratfufs Fläche ausübt, wenn das Niveau des Wassers im einen Schenkel eine gegebene Höhe über das im andern erreicht, wonach also für 12 Zoll Höhe das Gewicht eines Kubikfufses $= 62{,}5$ Pfd. gehört, mithin für 1 Zoll $\frac{62{,}5}{12}$ Pfd. u. s. w. Aufserdem giebt Lind eine ausführliche Anweisung, wie man aus der Verkürzung der Wassersäule im hinteren Schenkel der Röhre, wenn diese vorher bis an ihr Ende ganz voll war, die Höhe der gehobenen Säule finden könne. Uebrigens bedarf es dieser Rechnung für den wohl stets anzunehmenden Fall nicht, wenn beide Schenkel gleich weit sind, denn alsdann betrüge diese Höhe die doppelte derjenigen, welche nach Herstellung des gleichen Niveaus in beiden Schenkeln im hinteren fehlt, das Instrument würde aber hierdurch zum selbstregistrirenden für das Maximum der statt gefundenen Windstärke werden.

$$\sqrt{0,75} : \sqrt{15,6} = 20 : 91,2$$

die vierte Proportionale von 91,2 Fuſs in einer Secunde oder 62 engl. Meilen Geschwindigkeit in 1 Stunde, welche einem Unterschiede von 3 Zoll des Niveaus in beiden Schenkeln zugehört. Da aber diese Unterschiede oder die Wasserhöhen sich verhalten wie die Gröſsen des Druckes, und diese wie die Quadrate der Geschwindigkeiten, so lassen sich beide aus jenen berechnen[1]. Hiernach hat Hutton die folgende Tabelle berechnet, der ich die Reduction der englischen Meilen auf Par. Fuſsmaſs hinzugefügt habe, die engl. Meile zu 4956,6 Par. Fuſs angenommen.

Wasserhöhe Zoll	Druck gegen 1 Quadratf. Fläche in Pfunden	Geschwindigkeit in einer Stunde in engl. Meilen	Geschwindigkeit in einer Secunde in Par. Fuſs
0,25	1,3	18,0	24,78
0,50	2,6	25,6	35,25
1	5,2	36,0	49,56
2	10,4	50,8	68,84
3	15,6	62,0	85,36
4	20,8	76,0	104,6
5	26,0	80,4	110,7
6	31,25	88,0	121,1
7	36,5	95,2	131,0
8	41,7	101,6	139,8
9	46,9	108,0	148,7
10	52,1	113,6	156,4
11	57,3	119,2	164,1
12	62,5	124,0	170,7

1 In der Instruction, welche für die neueste antarktische Expedition unter John Ross ausgearbeitet worden ist, wird für den Fall, daſs Osler's und Whewell's später erfundene Windmesser fehlen, die gewöhnliche Windfahne und Lind's Windmesser empfohlen. S. London and Edinburgh philos. Magaz. N. XCV. p. 216. Daselbst ist auch die Rede von angehängten Tabellen, wonach die mit diesem Apparate gemachten Beobachtungen berechnet werden könnten; da ich sie aber an dem angegebenen Orte nicht finde und sie mir auch auſserdem leider nicht bekannt geworden sind, so kann ich kein Urtheil über sie fällen und sie hier auch nicht mittheilen, obgleich dieses interessant und wichtig seyn würde. Sie sind enthalten in Repert. of the Committee of Physics and Meteorology of the Royal Society, on the objects of scientific Inquiry in those Sciences; drawn up for the antarctic Expedition of 1839.

Nach HUTTON fand Dr. LIND in einem gegebenen Falle den Druck des Windes = 34,9 Pfund gegen einen Quadratfufs, welches nach leichter Interpolation der Tabelle 93 Meilen in einer Stunde giebt.

26) Man hat vielfach versucht, die Geschwindigkeit des Windes und seines Druckes theoretisch zu finden[1]. Da hierbei die zugehörigen Gröfsen wegen der Veränderlichkeit der Dichtigkeiten der Luft und des Wassers nicht wohl mit absoluter Schärfe bestimmbar sind, so möge hier die folgende einfache Darstellung genügen. Die bewegte Luft wird offenbar das Wasser in dem einen Schenkel über das Niveau im andern zu der nämlichen Höhe erheben, als welche gegen die ausströmende Luft drückend diese in die zugehörige Geschwindigkeit versetzen würde. Es ist aber nach pneumatischen Gesetzen die Geschwindigkeit der ausströmenden Luft den Quadratwurzeln aus den Höhen der sie drückenden Wassersäulen und aus dem Verhältnifs ihrer Dichtigkeit gegen Wasser proportional, welches durch die bekannte Formel

$$v = 2\sqrt{\frac{gh}{\delta}}$$

ausgedrückt wird, wenn v ihre Geschwindigkeit in 1 Secunde mittlerer Sonnenzeit, g den Fallraum in dieser Zeit = 15 Par. Fufs und $\frac{1}{\delta}$ das Verhältnifs der Dichtigkeit des Wassers zu der der Luft bezeichnet. Nehmen wir[2], ohne Rücksicht auf ungleiche Wärme und Barometerstand, für $\delta = 0{,}001299$, und setzen wir h = 1 Par. Fufs, so wird

$$v = 2\sqrt{\frac{g}{0{,}001299}} = 214{,}9 \text{ oder nahe } 215.$$

Bei einer Geschwindigkeit von 215 Par. Fufs in 1 Secunde würde also der Wind eine Wassersäule von 12 Par. Zoll zu heben vermögen und gegen einen Quadratfufs Fläche mit einer Kraft von 73 Pfund köln. drücken. Es verhalten sich aber die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen, woraus

$$v : v' = \sqrt{h} : \sqrt{h'} \text{ und } v' = v\sqrt{\frac{h'}{h}}$$

---

1 Vergl. Art. *Wind*, *Geschwindigkeit desselben.*

2 S. Art. *Gewicht*, *specifisches.* Bd. IV. S. 1509.

folgt. Setzen wir zu gröſserer Bequemlichkeit für 1 Par. Fuſs oder für 12 Zoll Wasserhöhe im Anemometer die Geschwindigkeit des Windes in der gefundenen runden Zahl = 215 Fuſs, so wird die der jedesmaligen Wasserhöhe = h′ in Zollen des Par. Fuſses zugehörige Geschwindigkeit v′ des Windes in Par. Fuſsmaſs

$$v' = 215 \sqrt{\frac{h'}{12}}.$$

Wäre demnach beispielsweise h′ oder die Wasserhöhe im Anemometer = 3 Zoll, so ist

$$\begin{array}{rl} \text{Log. } 3 = & 0{,}4771213, \\ \text{Log. } 12 = & 1{,}0791812 \\ \hline & 1{,}3979401 - 2 \\ :2 = & 0{,}6989700 - 1 \\ \text{Log. } 215 = & 2{,}3324385 \\ \hline \text{Log. } v' = & 2{,}0314085, \text{ also } v' = 107{,}5 \text{ Fuſs.} \end{array}$$

Giebt aber 1 Fuſs = 12 Zoll Wasserhöhe einen Druck von 73 Pfund köln. gegen 1 Par. Quadratfuſs, so geben 3 Zoll $\frac{73}{4}$ oder 18,25 Pfund. Aus der Gleichung

$$h' = h \frac{v'^2}{v^2}$$

folgt dann ferner, daſs die Höhen, wozu der Wind die Wassersäulen hebt, oder die Kräfte, welche er ausübt, den Quadraten seiner Geschwindigkeit proportional sind, ein schon von La Hire erkannter, aus den Gesetzen der Mechanik folgender Satz. Wird für v der Werth = 215 Fuſs als normal angenommen, wonach $v^2 = 46225$ ist, und setzen wir den Druck gegen eine Fläche von 1 Par. Quadratfuſs = 73 Pfund, so ist die Druckhöhe der Luft, auf Wasser reducirt, oder h′ allgemein

$$h' = v'^2 \frac{73}{46225} = v^2\, 0{,}001579 \ldots$$

in köln. Pfunden. Hiernach ist folgende Tabelle berechnet, die eine einfache Interpolirung gestattet, wie aus der weiterhin folgenden ausführlichen Tabelle deutlich hervorgeht.

Höhenunterschied des Wassers im Anemometer	Geschwindigkeit des Windes in Par. Fufs	Druck gegen 1 Quadratfufs Fläche in köln. Pfunden
0,5 Lin.	12,6	0,25 ℔.
1 —	17,8	0,50 —
2 —	25,3	1,01 —
4 —	35,8	2,02 —
6 —	43,8	3,04 —
1 Zoll	62,6	6,08 —
2 —	87,7	12,17 —
3 —	107,5	18,25 —
4 —	124,2	24,34 —
6 —	152,0	36,50 —
8 —	175,5	48,68 —
10 —	196,3	60,83 —
12 —	215,0	73,00 —

Die hier gefundenen, den Wasserhöhen im Anemometer zugehörigen Geschwindigkeiten des Windes sind auch dann, wenn man den Unterschied zwischen englischen und französischen Zollen berücksichtigt, sämmtlich gröfser, als die von Hutton angegebenen; allein es ist bereits oben im Art. *Wind* gezeigt worden, dafs Hutton die Kraft, welche der Wind bei gewissen Geschwindigkeiten ausübt, überall etwas zu grofs gefunden hat, und es wird hieraus wahrscheinlich, dafs die letzteren Bestimmungen wohl die richtigern seyn könnten. Allerdings ist noch keineswegs ausgemacht, ob die Kraft des Stofses der Flüssigkeiten den Quadraten der Geschwindigkeiten genau proportional sey[1], auf jeden Fall aber dürfen wir dieses als nahe genau richtig betrachten, und in diesem Falle dürften die hiernach gefundenen Bestimmungen als wohl begründet erscheinen, da sich gegen die übrigen angenommenen Gröfsen keine erheblichen Einwendungen machen lassen. Absolute Genauigkeit läfst sich überall hierbei nicht erwarten, und Baumgartner[2] sagt hierüber sogar, es würde ein eitles Bemühn seyn, die Geschwindigkeit des Windes berechnen zu wollen; man müsse sie daher durch Anemometer messen, habe aber bisher durch solche Instrumente zu keinen allgemein gültigen Gesetzen gelangen können. Dessenungeachtet giebt der Lind'sche Windmesser gewifs sehr annä-

1 Vergl. Art. *Widerstand*.

2 Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande u. s. w. Supplementband. Wien 1830. S. 322.

hernde Resultate, und bei der Einfachheit und Bequemlichkeit desselben wäre es wünschenswerth, die Geschwindigkeit des Windes nach Bouguer's Methode durch leichte fliegende Körper empirisch mit möglichster Schärfe zu messen und die Angaben dieses Instrumentes mit den erhaltenen Resultaten zu vergleichen.

27) Dem Gebrauche des eben beschriebenen Windmessers stehn drei Hindernisse entgegen: die ungleiche Temperatur, das Verdunsten und das Gefrieren des Wassers. Um diesen zu begegnen, hat man die Anwendung anderer Flüssigkeiten in Vorschlag gebracht, namentlich Weingeist und Salzwasser. *Weingeist* würde vortreffliche Dienste leisten, weil er nicht gefriert und obendrein eine höhere gehobene Flüssigkeitssäule giebt, allein seine Ausdehnung durch Wärme ist noch gröfser, als die des Wassers, und seine Verdunstung nicht blofs stärker, sondern auch in Beziehung auf das Mischungsverhältnifs sehr unsicher, indem je nach dem Feuchtigkeitszustande der Luft mehr Weingeist oder mehr Wasser verdunstet und obendrein bei grofser Feuchtigkeit Wasser aus der Atmosphäre aufgesogen wird. Dennoch aber möchte ich, da sich ohnehin auf absolute Genauigkeit nicht rechnen läfst, die Anwendung des gewöhnlichen, mit etwas Alcannawurzel gefärbten einfachen Weingeistes (Branntweins) empfehlen und in diesem Falle vorschlagen, den dem Winde nicht entgegengerichteten Schenkel durch einen Deckel zu verschliefsen, in dessen Mitte sich eine in die Röhre herabgehende etwa 3 bis 12 Lin. lange und 1 Lin. weite hohle Röhre aus dünnem Messingblech befinden müfste, um die Verdunstung zu vermindern und dennoch die Beweglichkeit der Flüssigkeitssäule nicht zu stören. Durch diese könnte dann auch von Zeit zu Zeit mittelst Zugiefsen von Flüssigkeit der durch Verdunstung erzeugte Verlust wieder ersetzt werden. Weil aber der Weingeist leichter ist als Wasser, so wird eine in diesem Verhältnifs höhere Weingeistsäule den angegebenen Geschwindigkeiten und Druckkräften zugehören, wobei es am bequemsten ist, diese Gröfsen auf einander zu reduciren. Nehmen wir das specifische Gewicht des gemeinen Spiritus zu 0,95 an[1],

1 Vergl. Handbuch der theoretischen Chemie von L. Gmelin. Frkf. 1829. Th. II. S. 291. Die Flüssigkeit würde zwischen 42 bis 45 Proc. Alkohol enthalten. Vergl. Art. *Gewicht*. Bd. IV. S. 1567.

so giebt die Reduction folgende zusammengehörige Gröſsen, oder die Höhe der gehobenen Weingeistcylinder auf die des Wassers reducirt:

Wasser	Weingeist	Wasser	Weingeist	Wasser	Weingeist
1 Lin.	1,052 Lin.	1 Zoll	1,052 Zoll	6 Zoll	6,315 Zoll
2 —	2,105 —	2 —	2,105 —	8 —	8,421 —
4 —	4,210 —	3 —	3,157 —	10 —	10,538 —
6 —	6,315 —	4 —	4,210 —	12 —	12,631 —

28) Man hat als anzuwendende Flüssigkeit auch *Salzwasser* vorgeschlagen, allein der Anwendung desselben steht die auch durch das angegebene Mittel nicht ganz zu beseitigende Verdunstung entgegen. Hierdurch würde die Soole einen stets höhern Grad der Concentration erhalten und die Messung wegen stets wachsender Concentration unsicher werden. Diesem lieſse sich allerdings begegnen, wenn man den verdunsteten Antheil stets durch zugegossenes reines Wasser ersetzte, allein nicht gesättigte Soole würde keinen hohen Kältegraden widerstehn, bei gesättigter könnte aber leicht, namentlich durch den dauernden Einfluſs der auffallenden Sonnenstrahlen, eine Ausscheidung des Salzes aus der bei den steten Schwankungen an den inneren Wandungen anhängenden Flüssigkeit erfolgen. Ob und wie weit dieses der Erfahrung nach wirklich statt findet, ist mir unbekannt; wollte man aber für die Winterbeobachtungen diese leicht zur Hand seyende Flüssigkeit wählen, so müſste es auf jeden Fall eine gesättigte Soole seyn, und wenn wir dann das specifische Gewicht derselben in runder Zahl = 1,2 annehmen[1], so würde die Reduction der zugehörigen Flüssigkeitssäulen auf Wasser folgende Werthe geben:

---

1 S. Art. *Gewicht, specifisches.* Bd. IV. S. 1474. Die Soole würde dann ungefähr 26,5 Proc. Salz enthalten, also für gesättigt gelten können. Absolut scharfe Bestimmungen sind wegen der nicht völligen Reinheit der Soolen, auch wenn man sie durch das Auflösen des gewöhnlichen Kochsalzes in reinem Wasser herstellt, unmöglich.

Wasser	Soole	Wasser	Soole	Wasser	Soole
1 Lin.	0,834 Lin.	1 Zoll	0,834 Zoll	6 Zoll	5,000 Zoll
2 —	1,667 —	2 —	1,667 —	8 —	6,667 —
4 —	3,334 —	3 —	2,500 —	10 —	8,334 —
6 —	5,000 —	4 —	3,334 —	12 —	10,000 —

29) Die angemessenste Flüssigkeit dürfte *verdünnte Schwefelsäure* seyn, wenn man gerade eine solche wählte, die bei einem mittleren Feuchtigkeitszustande auf jeden Fall nur wenig Wasser verdunstet, bei einem hohen aber keines annimmt, so daſs ihr specifisches Gewicht hierdurch nicht geringer, und durch Nachfüllen von reinem Wasser bis zur Herstellung der ursprünglich vorhandenen Menge auch bei anhaltender Trockenheit nicht gröſser werden würde. Indem aber nach Gay-Lussac [1] das Vitriolöl funfzehnmal sein Gewicht an Wasser als Maximum in sehr feuchter Luft annimmt und dann in genähertem Werthe ein specifisches Gewicht = 1,05 hat, so dürfte es am geeignetsten seyn, gerade diese Mischung zu wählen und also verdünnte Schwefelsäure von 1,05 spec. Gewicht anzuwenden, die sich auſserdem durch etwas Carmin schön roth oder durch einen andern geeigneten Stoff beliebig färben läſst. Die Reduction der Scale auf die des Wassers giebt dann folgende Werthe:

Wasser	Schwefelsäure	Wasser	Schwefelsäure	Wasser	Schwefelsäure
1 Lin.	0,952 Lin.	1 Zoll	0,952 Zoll	6 Zoll	5,714 Zoll
2 —	1,904 —	2 —	1,904 —	8 —	7,620 —
4 —	3,810 —	3 —	2,857 —	10 —	9,524 —
6 —	5,714 —	4 —	3,810 —	12 —	11,428 —

30) Die Wärme dehnt alle die genannten Flüssigkeiten aus, die bei höherer Temperatur gehobenen Säulen werden daher verhältniſsmäſsig leichter seyn und demnach einer geringeren Geschwindigkeit des Windes zugehören. Die Gröſse der Ausdehnung wird derjenigen des Wassers nahe gleich seyn, und da wir diese letztere sehr genau kennen, so lieſse sich die erforderliche Reduction leicht erhalten, wenn man die bei

1 Handbuch der theoretischen Chemie von L. Gmelin. Frkf. 1827. Th. I. S. 309.

verschiedenen Temperaturen gemessenen Höhen der Säulen durch den Ausdehnungscoefficienten der Flüssigkeit dividirte. Wenn man aber berücksichtigt, daſs bei einer Wärme von 30° C. eine für 4° C. sogar 10 Zoll hohe Wassersäule in Folge der Ausdehnung nur 10,042 Zoll betragen würde[1], so ersieht man hieraus, daſs der Unterschied unbedeutend ist, und innerhalb der Grenzen der Genauigkeit liegt, die sich von diesem Apparate nach den bis jetzt möglichen Bestimmungen erwarten lassen. Die Kleinheit dieses Unterschiedes liegt aber hauptsächlich in dem Umstande, daſs das Wasser bei 4° C. den Punct seiner gröſsten Dichtigkeit hat und daher erst bei 9° C. über die bei 0° C. angenommene Einheit des Volumens hinausgeht. Inzwischen ist das Wasser auf jeden Fall eine für diesen Zweck nicht geeignete Flüssigkeit, da es keine Winterbeobachtungen gestattet. Das ganze Instrument ist ferner auch in der Hinsicht beschränkt, weil es nicht, wie die Windfahnen, auf den höchsten Puncten der Häuser angebracht und demnach, namentlich in den Städten, nur unter vielen Beschränkungen der freien Luftströmung ausgesetzt, auſserdem aber nicht wohl selbstregistrirend gemacht werden kann. Wählt man aber statt des Wassers die verdünnte Schwefelsäure, und findet sich auf frei liegenden Observatorien oder Terrassen eine seiner Aufstellung günstige Localität, so gehört es unter die geeignetsten Apparate zur Aufhellung der meteorologischen Erscheinungen, und da sich jetzt hoffen läſst, daſs die Meteorologie zahlreiche Beförderer finden werde, so ist es wohl der Mühe werth, dieses auf einer immerhin sehr sicheren Basis gegründete Anemometer seiner Vollendung möglichst nahe zu bringen, und daher die Beobachtung desselben so leicht und sicher zu machen, als der Natur der Sache nach geschehn kann. Ein bedeutendes Mittel zu diesem Zwecke ist ohne Widerrede die angegebene Wahl der verdünnten Schwefelsäure, welche bei vorsichtigem Einfüllen die mit einem engen Röhrchen versehene Fassung des hinteren Schenkels nicht angreifen wird, da auſserdem das Röhrchen auch ohne Schwierigkeit von Glas gemacht werden könnte. Für diese Flüssigkeit ändert sich aber die oben gegebene Scale, und es lohnt sich wohl der Mühe, für diese übrigens unverkennbar sehr geeignete eine vollständige Scale zur

---

1 Vergl. Art. *Wärme*. Bd. X. S. 914.

Erleichterung der Beobachtungen zu berechnen. Am einfachsten gelangt man hierzu, wenn man annimmt, daſs die Geschwindigkeiten des Windes sich wie die Quadratwurzeln der specifischen Gewichte der gehobenen Flüssigkeitssäulen, die Pressungen der letzteren aber gegen eine gegebene Fläche wie die specifischen Gewichte verhalten. Nehmen wir das specifische Gewicht der verdünnten Schwefelsäure = 1,05 an, was um so sicherer geschehn kann, da eben eine solche Säure bei der Verfertigung des Instrumentes genommen werden soll, so wird die oben gefundene Geschwindigkeit des Windes, welche 12 Par. Zoll oder 1 Par. Fuſs Wasser zu heben vermag, für diese Flüssigkeit = 220 Fuſs, und die oben (§. 26) gegebene Formel verwandelt sich in:

$$v' = 220 \sqrt{\frac{h'}{12}},$$

wenn h' in Fuſsmaſs genommen wird, der Druck gegen einen Quadratfuſs Fläche aber wird statt 73 Pfund vielmehr 76,55 Pfund, wonach die folgende Tafel berechnet ist, die für die zwischenliegenden Gröſsen eine einfache Interpolation zuläſst.

Höhe der Flüssigkeitssäule	Geschwindigkeit d. Windes	Druck gegen 1 Quadratfuſs	Höhe der Flüssigkeitssäule	Geschwindigkeit d. Windes	Druck gegen 1 Quadratfuſs
1 Lin.	18,35 Fuſs	0,53 ℔.	1 Zoll 7 Lin.	80,00 Fuſs	10,10 ℔.
2 —	25,95 —	1,06 —	1 — 8 —	82,07 —	10,63 —
3 —	31,78 —	1,59 —	1 — 9 —	84,10 —	11,16 —
4 —	37,56 —	2,13 —	1 — 10 —	86,11 —	11,69 —
5 —	41,04 —	2,66 —	1 — 11 —	88,01 —	12,23 —
6 —	44,95 —	3,19 —	2 Zoll 0 Lin.	89,90 —	12,76 —
7 —	48,55 —	3,72 —	2 — 1 —	91,75 —	13,29 —
8 —	52,51 —	4,25 —	2 — 2 —	93,57 —	13,82 —
9 —	55,05 —	4,78 —	2 — 3 —	95,36 —	14,35 —
10 —	58,17 —	5,32 —	2 — 4 —	97,11 —	14,88 —
11 —	60,86 —	5,85 —	2 — 5 —	98,83 —	15,42 —
1 Zoll 0 Lin.	63,57 —	6,38 —	2 — 6 —	100,5 —	15,95 —
1 — 1 —	66,17 —	6,91 —	2 — 7 —	102,1 —	16,48 —
1 — 2 —	68,66 —	7,44 —	2 — 8 —	103,8 —	17,10 —
1 — 3 —	71,07 —	7,97 —	2 — 9 —	105,4 —	17,54 —
1 — 4 —	73,40 —	8,50 —	2 — 10 —	107,0 —	18,07 —
1 — 5 —	75,66 —	9,04 —	2 — 11 —	108,5 —	18,60 —
1 — 6 —	77,86 —	9,57 —	3 Zoll 0 Lin.	110,1 —	19,14 —

Höhe der Flüssigkeitssäule	Geschwindigkeit d. Windes	Druck gegen 1 Quadratfuſs	Höhe der Flüssigkeitssäule	Geschwindigkeit d. Windes	Druck gegen 1 Quadratfuſs
3 Zoll 2 Lin.	113,1 F.	20,20 ℔.	6 Zoll 4 Lin.	160,0 F.	40,40 ℔.
3 — 4 —	115,9 —	21,26 —	6 — 8 —	164,1 —	42,53 —
3 — 6 —	118,9 —	22,33 —	7 Zoll 0 Lin.	168,2 —	44,65 —
3 — 8 —	121,7 —	23,39 —	7 — 4 —	172,1 —	46,78 —
3 — 10 —	124,4 —	24,45 —	7 — 8 —	176,0 —	48,90 —
4 Zoll 0 Lin.	127,1 —	25,52 —	8 Zoll 0 Lin.	179,8 —	51,03 —
4 — 2 —	129,8 —	26,58 —	8 — 4 —	183,5 —	53,16 —
4 — 4 —	132,3 —	27,64 —	8 — 8 —	187,2 —	55,29 —
4 — 6 —	134,8 —	28,71 —	9 Zoll 0 Lin.	190,7 —	57,41 —
4 — 8 —	137,3 —	29,77 —	9 — 4 —	194,2 —	59,54 —
4 — 10 —	139,7 —	30,83 —	9 — 8 —	197,6 —	61,66 —
5 Zoll 0 Lin.	142,1 —	31,89 —	10 Zoll 0 Lin.	201,0 —	63,79 —
5 — 2 —	144,5 —	32,96 —	10 — 4 —	204,3 —	65,92 —
5 — 4 —	146,8 —	34,02 —	10 — 8 —	207,6 —	68,04 —
5 — 6 —	149,1 —	35,08 —	11 Zoll 0 Lin.	210,8 —	70,17 —
5 — 8 —	151,3 —	36,15 —	11 — 4 —	214,0 —	71,30 —
5 — 10 —	153,5 —	37,21 —	11 — 8 —	217,1 —	74,42 —
6 Zoll 0 Lin.	155,7 —	38,27 —			

31) Soll hierbei auch die Ausdehnung der verdünnten Schwefelsäure durch Wärme berücksichtigt werden, so läſst sich hierüber Folgendes mindestens annähernd bestimmen. Bei der Formel liegt die Annahme zum Grunde, daſs das Wasser seine gröſste Dichtigkeit, die verdünnte Schwefelsäure aber eine Temperatur von 0° C. habe. Die durch den Windstoſs gehobene Flüssigkeitssäule muſs daher bei höherer Temperatur um so viel vermindert, bei niedrigerer um so viel vermehrt werden, als ihre Ausdehnung oder Zusammenziehung durch Wärme beträgt, wenn man die ihr zugehörige Geschwindigkeit des Windes und dessen Druck gegen einen Quadratfuſs Fläche in der Tabelle aufsuchen will. Die Ausdehnung der hier angenommenen verdünnten Schwefelsäure ist nicht durch genaue Messungen ermittelt worden, es läſst sich aber mit Gewiſsheit annehmen, daſs sie geringer, als die des Wassers sey, da letzteres durch Zusatz von Salzen und Säuren an Ausdehnbarkeit verliert[1]. Angenommen sie komme der des Seewassers von 1,027 specifischem Gewichte gleich, was gewiſs nicht zu viel ist, da das

1 Vergl. Art. *Wärme.* §. 487. S. 918.

specifische Gewicht der verdünnten Säure 1,05 seyn soll, so betrüge ihr Volumen bei 24° C. nicht mehr als 1,004982, und eine Säule von 12 Zoll Höhe würde nur 12,048984 Zoll, mithin nicht ganz eine halbe Decimallinie, wir können annehmen eine halbe Duodecimallinie betragen. Da aber die heftigsten Stürme schwerlich eine solche Stärke erreichen, dafs sie die Flüssigkeit bis zu 12 Zoll Höhe zu erheben vermögen sollten, ihre Wärme aber, mit Ausnahme der Sandstürme und des Föhns, schwerlich bis 24° C. steigen dürfte, in diesem Falle aber aufserdem die Ausdehnung des Glases vermindernd einwirken würde, so ergiebt sich klar, dafs eine hieraus entnommene Correction bei diesem ohnehin nicht absolut genauen Apparate füglich entbehrt werden kann.

32) Der so eben ausführlich beschriebene Windmesser verdient auch aus dem Grunde besondere Aufmerksamkeit, weil die Fläche, auf welche der Luftstrom drückt, nur klein ist, mithin diejenige Unsicherheit umgangen wird, die aus der Gröfse der Flächen entspringt[1]. Inzwischen hat man meistens ebene Scheiben von ungefähr einem Quadratfufs Inhalt zur Messung der Windstärke anzuwenden versucht, wie genügend aus den noch weiter zu beschreibenden Apparaten hervorgeht; Parrot[2] weicht aber hiervon ab, und bringt eine hohle Kugel in Vorschlag, die an einer Stange beweglich aufgehangen durch den Windstofs gehoben werden, und deren Elevationswinkel, an einem Quadranten mit Kreistheilung gemessen, die Stärke und die dieser zugehörige Geschwindigkeit des Windes angeben soll. Dieses beruht auf dem Umstande, dafs die Richtung des Windes so ausnehmend wechselt und namentlich bei Stürmen kaum einen Augenblick unverändert bleibt, weswegen es unmöglich wird, die gestofsene Fläche andauernd ihr genau lothrecht entgegenzuhalten. Dieses Hindernifs fällt aber bei der Kugel nicht weg, indem die Richtung des Windes diese genau in der Ebene des messenden Quadranten treffen mufs, weil sie, wie eine ebene Fläche, auch bei dem heftigsten Sturme ruhen müfste, wenn der Wind normal auf jene Ebene gerichtet wäre. Dazu kommt dann noch der Umstand, dafs die Gewalt, welche der Luftstofs gegen die Halbkugelfläche aus-

---

1 Vergl. Artt. *Widerstand* und *Wind*.

2 Voigt's Magazin. Th. I. St. 2. S. 153.

übt, in sehr genähertem Werthe nur die Hälfte derjenigen beträgt, welche die Durchschnittsfläche durch ihr Centrum erleidet, wodurch also ein solcher Apparat auf die Hälfte der erreichbaren Genauigkeit herabsinkt. Die von PARROT angegebenen Mittel, wodurch man für eine Kugel von gegebener Oberfläche und gegebenem Gewichte die den Graden ihrer Elevation zugehörigen Geschwindigkeiten des Windes finden soll, sind sehr zusammengesetzt, und da man sie deswegen schwerlich in Anwendung bringen dürfte, so überhebe ich mich einer Beschreibung derselben.

33) BEAUFOY[1], welcher sich durch die zahlreichsten Versuche und ein lange anhaltendes Studium mit den Gesetzen des Stofses und Widerstandes der Flüssigkeiten vorzüglich vertraut gemacht hatte, kehrte wieder zu der von BOUGUER angegebenen Einrichtung zurück, was sehr zu deren Gunsten entscheidet; zugleich aber gab er diesem Instrumente wohl die vollendetste Gestalt, deren dasselbe fähig ist und die sich mit Hülfe einer ungefähren Zeichnung der Haupttheile sehr leicht begreifen läſst[2]. Eine dünne hölzerne Tafel AA ist an einer
Fig. 222. vierkantigen horizontalen Stange BB befestigt, und wird durch die an der verticalen runden Stange X oben angebrachte groſse Windfahne dem herrschenden Winde stets perpendiculär entgegen gerichtet. Die Stange BB ist hinlänglich lang, um an ihrem vorderem Theile auf der unteren Frictionsrolle ruhend dem Windbrete vollkommen das Gleichgewicht zu halten. Sie bewegt sich nämlich an zwei Stellen zwischen Frictionsrollen, deren 4 in dem Kasten D, wovon eine bei c sichtbar ist, die anderen 4 in dem Gehäuse Z befindlich sind. Bei der Gröſse und der vollendeten Ausführung derselben darf man annehmen, daſs die Reibung der Stange dadurch auf ein unbedeutendes Minimum herabgebracht wird. An der Stange ist eine Kette befestigt, wie diejenigen, welche sich in den Taschenuhren befinden, deren Fortsetzung um einen Cylinder gewunden ist, welcher zugleich mit einer Schnecke, wie die der Uhren, ver-

1 Annals of Philosophy. New Ser. T. II. p. 431. Tabellen zur Berechnung der Stärke des Windes giebt derselbe ebend. Th. III. S. 10. Sie beziehn sich aber nur auf die Dimensionen des von ihm gebrauchten Anemometers.

2 Die schöne, er Beschreibung beigefügte Kupfertafel giebt alle einzelne Theile sehr deutlich.

sehn ist und dessen durch das Zifferblatt gg hervorstehendes Ende einen Zeiger trägt. Eine um die Schnecke gewundene feine seidene Schnur trägt an ihrem anderen Ende das herabhängende Gewicht P, welches um so stärker auf die gemeinschaftliche Axe des Cylinders und der Schnecke wirkt, woran auch der Zeiger befestigt ist, je weiter die Windungen der Schnecke sind und je länger also der Hebelarm ist, den es umzudrehn das Bestreben hat. Je tiefer daher die Stange BB durch den Stofs des Windes gegen die Platte AA hineingedrückt wird, desto mehr zieht die Kette an dem umwundenen Cylinder und dreht diesen, zugleich aber die Schnecke, um ihre gemeinschaftliche Axe, die Schnur windet sich um zunehmend weitere Spiralen der Schnecke und strebt dem wachsenden Drucke des Windes entgegen, wodurch sich die Kraft desselben messen läfst. Jede einzelne Umdrehung der Schnecke wird durch den Zeiger des Zifferblattes gg in Hundertsteln angegeben, hinter dem Zifferblatte hat aber die Axe dieses Zeigers noch ein Getriebe, welches in ein gezahntes Rad eingreift, auf dessen Axe der Zeiger des kleinen Zifferblattes hh festsitzt, um auf diese Weise die einzelnen Umdrehungen des ersten Zeigers zu messen. Wenn demnach die Zeiger, die wie gewöhnlich aufgesteckt sind, auf 0 gestellt werden, der Faden des Gewichtes P aber durch die Axe des Cylinders und der Schnecke herabhängt, mithin auf deren Umdrehung keine Gewalt ausübt, und die Stange BB so weit vorgeschoben wird, dafs die an ihr befestigte Kette nicht gestrafft ist, so befindet sich der Apparat in Ruhe. Sobald dann aber der Wind die Scheibe AA zurückdrückt, strebt die Kette ihren Cylinder und die Schnecke umzudrehn, der sich um die Schnecke windende Faden mit dem Gewichte P strebt diesem entgegen, bis das Gleichgewicht hergestellt ist, und die Zeiger messen die diesem zugehörige Gewalt. Um das Maximum der letzteren zu wissen, ist ein Sperrkegel angebracht, welcher in den gezahnten äufsersten Rand der Schnecke eingreift und diese in der erreichten Lage feststellt. Wie dieser Windmesser auf einem hinlänglich festen Gestelle leicht in horizontaler Ebene drehbar befestigt werden könne, um entweder nach der Absicht des Erfinders tragbar oder feststehend zu seyn, ist in der Zeichnung blofs angedeutet und kann von jedem mit mechanischen Kenntnissen Vertrauten leicht supplirt werden.

34) Wollte man die dem jedesmaligen Stande der Zeiger zugehörigen Geschwindigkeiten des Windes bestimmen, so könnten diese aus der Gröfse der dem Windstofse entgegenstehenden Fläche, dem Gewichte P und der Länge der Radien, sowohl des Cylinders, um welchen die Kette gewunden ist, als auch der Schnecke, durch Rechnung gefunden werden, da die Stärke des Druckes bekannt ist, welchen der Wind gegen eine gegebene Fläche bei verschiedenen Geschwindigkeiten ausübt; leichter und sicherer dürfte es aber seyn, das bereits von Bouguer angegebene Verfahren in Anwendung zu bringen, also das Anemometer vertical zu stellen, mit verschiedenen Gewichten, unter Berücksichtigung des Gewichtes der Stange und der Scheibe, zu belasten und die zugehörigen Stände der Zeiger hiernach zu bezeichnen. Auf diese Weise würde es leicht seyn, Tabellen zu erhalten, wonach sich fortdauernd die dem jedesmaligen Stande der Zeiger zugehörigen Geschwindigkeiten der Winde bestimmen liefsen.

35) Es mögen hier noch einige Vorschläge zu Windmessern blofs erwähnt werden, bei denen es einer ins Einzelne gehenden Beschreibung nicht bedarf. Martin[1] hat einen solchen angegeben, wodurch gleichfalls die Geschwindigkeit des Windes aus der Stärke seines Druckes gegen eine gegebene Fläche gefunden wird. Nach Hugh Hamel[2] zu Dublin soll man die Stärke des Windes mittelst eines Balkens (*bar*) messen, welcher durch denselben aus seiner verticalen Richtung getrieben wird. Die Beschreibung ist nicht hinlänglich deutlich, und dieses um so weniger, da keine Zeichnung zu ihrer Erläuterung hinzugefügt ist. Sehr sinnreich construirt ist das Anemometer, welches Huber[3] vorgeschlagen und genau beschrieben bat; jedoch ist das Ganze zu complicirt und der erforderliche Schutz gegen die nachtheiligen Einflüsse der Witterung nicht genügend berücksichtigt.

36) Die zuletzt beschriebenen Windmesser sind Verbesserungen, zum Theil blofse Abänderungen, des zuerst durch

---

1 In Philos. Brit. T. II. p. 211. Vergl. Rees Cyclopaedia. Art. *Wing-Gage.*

2 Philosophical Magazine and Annals. T. XI. N. 62. p. 100.

3 Mém. de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Génève. 1821. T. I. p. 103.

Bouguer angegebenen, die noch ältere Erfindung (§. 5) blieb in den neuesten Zeiten fast unbeachtet, mit Ausnahme des von Hamel ausgegangenen Vorschlags. Inzwischen wurde auch dieser neuerdings eine Bearbeitung zu Theil, welche in hohem Grade die Aufmerksamkeit der Meteorologen verdient. G. G. Schmidt[1] macht den nach Wolf's Angabe construirten Windmessern den Vorwurf, daſs sie nur die mittlere Geschwindigkeit des Windes während einer gegebenen Zeit, nicht aber die ab- und zunehmende Stärke der einzelnen Windstöſse angeben, und den nach Bouguer's Vorschlage eingerichteten stellt er entgegen, daſs sie bloſs das Maximum der Stärke, nicht aber die Schwankungen derselben zeigen. Der letztere Vorwurf fällt indeſs weg, wenn man die Absperrung wegläſst, in welchem Falle namentlich nach Regnier's und Beaufoy's Einrichtungen die Zeiger in steter Bewegung seyn und die in jedem Augenblicke statt findende Stärke des Windstoſses anzeigen würden, die Absperrung aber für die temporäre Abwesenheit des Beobachters vorbehalten bliebe.

Der von Schmidt vorgeschlagene Windmesser besteht aus Fig.
einer quadratischen Scheibe AB von starkem Holze und hin- 223
länglichem Gewichte, um dem Stoſse des Windes zu wider- u. 224.
stehn. Auf diesem ist der metallene Rahmen CCCC lothrecht aufgerichtet, in welchem sich ein zweiter Rahmen von dünnen Metallstäben eeee mit seiner Axe ggff leicht dreht, an deren oberem Ende die Windfahne befestigt ist, die die Fläche dieses Rahmens der Richtung des Windes stets lothrecht entgegenstellt. Am untern Ende der Axe ist ein Zeiger befestigt, welcher sich über der um ihre Axe drehbaren Windrose hh bewegt, um den Apparat stets so zu richten, daſs der Wind gegen die Fläche des Rahmens CCCC bläst, ohne durch die verticalen Stäbe gehindert zu werden. Die Windrose wird dann mittelst einer Magnetnadel orientirt. Quer durch den beweglichen Rahmen eeee geht eine feine stählerne Axe qr, an welcher das bewegliche Pendel dbaa festsitzt. Der untere Theil dieser Pendelstange ba ist keilförmig zugeschärft, der obere Theil bd dagegen ist etwas breiter, so daſs der Stoſs des Windes gegen beide sehr nahe gleich und der Ein-

---

1 Poggendorff's Ann. XIV. 59.

flufs dieser Stange daher beseitigt wird[1]. Die Scheibe m aus dünnem Messingblech ist dazu bestimmt, die Stärke des Windstofses zu messen; ihr Durchmesser betrug 0,15 Meter, die Länge der Pendelstange bm 0,3 Meter. Der Winkel, bis zu welchem der Wind die Scheibe m hob, wurde mittelst des Armes bd an einem Gradbogen cc gemessen, welcher am oberen Theile f des Rahmens eeee, auf dessen Fläche lothrecht, befestigt war. Auf dem Gradbogen befand sich zugleich ein leicht beweglicher, sogenannter *fliegender Index* i, welcher durch die Spitze des Hebelarmes fortgeschoben in der gröfsten erreichten Entfernung stehn blieb; doch mufs man sich dieses Mittels nur bedienen, um plötzliche und heftige Windstöfse zu messen, da die gewöhnlichen geringeren Oscillationen leichter und besser am Kreisbogen unmittelbar abgelesen werden. Am unteren Theile der Pendelstange befindet sich ein verschiebbares Bleigewicht p, 2 Loth schwer, von der Gestalt einer flachen Linse, welches dazu dient, den veränderlichen Schwerpunct des Pendels zu reguliren und dadurch dasselbe Pendel für schwächere und stärkere Winde mehr und minder empfindlich zu machen. Das Gewicht hat meistens die Lage, dafs der gemeinschaftliche Schwerpunct zwischen b und m fällt und somit das Gesammtgewicht des Pendels = 5,104 Loth köln. auf den Mittelpunct der Stofsfläche reducirt mit 2,552 Loth in Rechnung kommt.

37) Für die Theorie dieses Windmessers giebt G. G. Schmidt Folgendes an. Setzt man das auf den Mittelpunct der Stofsfläche m reducirte Gewicht des Pendels = p, den senkrechten Stofs des Windes gegen die Scheibe aa = s, den Neigungswinkel des Pendels, bei welchem es mit dem Windstofse ins Gleichgewicht kommt, = φ, und wird angenommen, dafs der schiefe Stofs gegen die Fläche dem Quadrate des Cosinus dieses Winkels proportional sey, wie dieses aus der Zerlegung der Kräfte hervorgeht, so erhält man

$$p \operatorname{Sin.} \varphi = s \operatorname{Cos.}^2 \varphi \quad \text{also} \quad s = \frac{p \operatorname{Sin.} \varphi}{\operatorname{Cos.}^2 \varphi},$$

woraus folgt, dafs s unendlich grofs für $\varphi = 90°$ seyn würde.

---

1 Es liegt sehr nahe, dafs dieser Einflufs vorher, ehe man die Scheibe m anbringt, empirisch corrigirt werden könne.

Diese Betrachtung bewog SCHMIDT, dem Windstofse eine ebene Fläche und keine Kugel entgegen zu richten, für welche, bei stets gleicher Stofsfläche, die Gleichung einfach $s = p \text{ Tang. } \varphi$ seyn würde; denn in diesem Falle könnte eine einzige Kugel für die ungleich starken Winde nicht genügen, da den angestellten Beobachtungen gemäfs das Pendel, sobald es über 60° Elevation hinausging, nur einer geringen Zunahme der Geschwindigkeit des Windes bedurfte, um 90° nicht blofs zu erreichen, sondern auch darüber hinauszugehn[1].

38) SCHMIDT gesteht, dafs ihm keine sonstigen so vollständigen Versuche über den schiefen Stofs und Widerstand der Luft bekannt seyen, als die, welche BOSSUT im zweiten Theile seiner Hydrodynamik über den Widerstand des Wassers beim

---

1 Es wird nicht überflüssig seyn, gröfserer Deutlichkeit wegen hierbei Folgendes zu bemerken. Dafs s für $\varphi = 90°$ unendlich wird, kann wohl nicht für die Wahl einer ebenen Fläche statt einer Kugel entscheiden, denn auch bei letzterer wird $s = p \text{ Tang. } \varphi$ für $\varphi = 90°$ unendlich. Allein eine flache Scheibe ist aus andern Gründen einer Kugel vorzuziehn; denn aus den im Art. *Widerstand* mitgetheilten Untersuchungen geht zwar hervor, dafs der Widerstand einer Kugel die Hälfte desjenigen beträgt, welchen eine Fläche von der Gröfse ihres gröfsten Kreises ausübt, indefs ist diese Bestimmung doch immerhin nicht absolut sicher, und es würde dadurch in die Berechnung ein neues, nicht vollkommen fest begründetes Element ohne genügende Ursache eingeführt.

Wichtiger noch ist die Frage, wie es zugehe, dafs die Erfahrung für s einen unendlichen Werth gebe, welcher doch unmöglich ist. Hierauf läfst sich erwidern, dafs die gleichmäfsig strömende Luft auch bei gröfstmöglicher Geschwindigkeit niemals einen Elevationswinkel von 90° erzeugen wird, aber ein plötzlicher Stofs gegen das ruhende oder wiederholte Stöfse gegen das bereits etwas gehobene Pendel vermögen dasselbe leicht bis 90° oder darüber hinaus zu treiben, ja es wäre nicht unmöglich, selbst nicht einmal sehr schwierig, dasselbe in einem ganzen Kreise herumzuschleudern. Hierbei wirkt aber nicht eine andauernde mechanische Gewalt auf das Pendel, sondern der plötzliche Stofs ertheilt ihm eine Geschwindigkeit, vermöge welcher es weit über diejenige Höhe hinausfliegt, ja selbst bei augenblicklich aufhörendem Winde hinausfliegen würde, die es den wirkenden mechanischen Kräften gemäfs erreichen kann. Diesemnach dürfte es noch zweifelhaft seyn, ob die Folgerung, welche SCHMIDT hieraus entnimmt, dafs der schiefe Stofs der Luft in einem geringeren Verhältnisse, als dem quadratischen des Sinus des Einfallswinkels abnehme, für richtig gelten könne.

schiefen Stoſse gegeben hat, und er legt daher die dort angeführten Erfahrungswerthe bei der Berechnung von

$$s = \frac{p \operatorname{Sin.} \varphi}{\operatorname{Cos.}^2 \varphi}$$

zum Grunde, die nur von 6° zu 6° gegeben sind, wobei aber die zwischenliegenden Grade durch Interpolation leicht gefunden werden. Hierzu glaubt er sich um so mehr berechtigt, als aus seinen eigenen Versuchen[1] hervorgeht, daſs die Bewegungsgesetze elastischer Flüssigkeiten, insofern sie von Druck und Schwere abhängen, denen der tropfbaren ganz analog sind. Hiernach läſst sich also der einem gewissen Neigungswinkel zugehörige Stoſs des Windes leicht auf den geraden reduciren, wie dieses in der nachfolgenden Tabelle geschehn ist. Um aus dem senkrechten Stoſse die zugehörige Geschwindigkeit des Windes zu finden, geht SCHMIDT von folgenden Gleichungen aus:

$$h = \frac{v^2}{4g} \text{ und } s = m \,.\, h a^2 p\,,$$

worin v die Geschwindigkeit, h die zugehörige Druckhöhe, a^2 die Stoſsfläche, p das specifische Gewicht der Luft, g den Fallraum für 1 Secunde, m aber einen durch Erfahrung zu bestimmenden Coefficienten bezeichnen. Weil aber die verschiedenen Erfahrungen den Werth von m zwischen 1,5 bis 2 veränderlich angeben, so schien es ihm am besten, die Bestimmung desselben aus Versuchen mit dem Anemometer selbst zu entnehmen. Es wurde daher, weil bloſs kleine Geschwindigkeiten gemessen werden konnten, ein Pendel von gleichen Dimensionen, aber geringerem Gewichte eingesetzt, indem letzteres, auf den Mittelpunct des Stoſses reducirt, nur 0,8672 Loth betrug. Ein Gehülfe trug dann mit ungleicher Geschwindigkeit durch einen abgemessenen Raum von 12,7 Meter fortschreitend das Anemometer vor sich her und beobachtete den Ausschlagswinkel, während ein anderer die hierzu gehörige Zeit maſs. Nach dem beobachteten Ausschlagswinkel konnte auf die angegebene Weise die Gröſse s berechnet werden, aus der gemessenen Geschwindigkeit wurde $h = \frac{v^2}{4g}$ und hieraus

1 G. LXVI. 39. Vergl. Art. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 623.

$s = g a^2 p$ gefunden. Die auf diese Weise erhaltenen Werthe fielen stets kleiner aus, als die auf die erste Art berechneten, indem das Verhältniſs zwischen 1,7 und 2,2 variirte, ja es schien, als ob der Exponent des Verhältnisses mit zunehmender Geschwindigkeit wachse; doch lieſs sich hierauf wenig Werth legen, weil die Geschwindigkeiten nicht über 6 Fuſs in der Secunde gebracht werden konnten[1]. Inzwischen scheint es doch, als lieſse sich der Coefficient $m = 2$ mit ziemlicher Sicherheit annehmen. Um aus der beobachteten Stärke des Windstoſses dann auf die Geschwindigkeit desselben zu schlieſsen, wird die Formel $v = \sqrt{\frac{2 g s}{a^2 p}}$ angewandt und für s werden die bereits angegebenen Werthe zum Grunde gelegt. Endlich bezeichnet p das specifische Gewicht der Luft bei 28 Zoll Barometerhöhe und 15° R. (18°,75 C.) Temperatur[2]. Dieses genügt, um zu verstehn, auf welche Weise die in der nachfolgenden Tabelle enthaltenen Werthe gefunden sind.

---

1 Schmidt war ein zu guter Physiker, als daſs ihm die Mangelhaftigkeit dieser Versuche entgehn konnte, weswegen er auch neue genauere anzustellen beabsichtigte. Dennoch aber dürfte er die hier gegebenen noch überschätzt haben, denn die Fehlergrenze ist so groſs, daſs sie genau genommen gar keinen Werth haben. Es ist ganz unmöglich, daſs der Experimentator bei so raschem Fortschreiten das Fuſsbret stets genau horizontal halten sollte; auſserdem aber sind Schwankungen desselben, welche dann auch Pendelschwingungen ohne allen Einfluſs des Windes erzeugen müssen, ganz unvermeidlich. Einfacher und sicherer wäre es gewesen, Seifenblasen, Flaumfedern oder kleine Luftballons durch den Wind über gemessene Abstände fortbewegen zu lassen und die hierzu erforderliche Zeit mit einer Tertienuhr zu messen.

2 Die hierdurch erhaltene Gröſse ist nicht näher angegeben.

Winkel	Stoſs	Geschwindigkeit	Winkel	Stoſs	Geschwindigkeit
1 Grad	0,0449 Loth	21,84 Zoll	46 Grad	3,253 Loth	185,88 Zoll
2	0,0899	28,59	47	3,372	189,36
3	0,1339	35,34	48	3,419	192,84
4	0,1798	42,09	49	3,626	196,32
5	0,2248	48,84	50	3,716	199,80
6	0,2697	52,91	51	3,896	203,16
7	0,3150	56,98	52	4,031	206,52
8	0,3603	61,05	53	4,116	209,88
9	0,4056	65,12	54	4,301	213,24
10	0,4509	69,20	55	4,421	216,60
11	0,4961	72,55	56	4,540	219,44
12	0,5414	75,90	57	4,660	222,28
13	0,5929	79,25	58	4,779	225,12
14	0,6444	82,60	59	4,896	227,96
15	0,6959	85,95	60	5,018	230,80
16	0,7474	89,12	61	5,098	232,62
17	0,7989	92,29	62	5,187	234,44
18	0,8504	95,46	63	5,258	236,26
19	0,9135	98,63	64	5,338	238,08
20	0,9766	101,80	65	5,418	239,90
21	1,0937	104,78	66	5,498	241,28
22	1,1082	107,76	67	5,559	242,66
23	1,1659	110,74	68	5,621	244,04
24	1,2290	113,72	69	5,682	245,42
25	1,2830	116,70	70	5,737	246,80
26	1,3376	119,68	71	5,999	247,92
27	1,3919	123,02	72	5,860	249,04
28	1,4462	126,18	73	5,907	250,16
29	1,6007	129,34	74	5,955	251,28
30	1,6550	132,50	75	6,002	252,40
31	1,7401	135,72	76	6,049	253,28
32	1,8252	138,94	77	6,097	254,16
33	1,9103	142,16	78	6,144	255,04
34	1,9954	145,38	79	6,179	255,92
35	2,0805	148,60	80	6,214	256,80
36	2,1660	151,94	81	6,249	257,46
37	2,2680	155,28	82	6,284	258,12
38	2,3700	158,62	83	6,318	258,78
39	2,4720	161,96	84	6,354	259,44
40	2,5740	165,30	85	6,372	260,10
41	2,6760	168,72	86	6,390	260,46
42	2,7780	172,14	87	6,408	260,82
43	2,8970	175,56	88	6,425	261,18
44	3,0160	178,98	89	6,442	261,54
45	3,1350	182,40	90	6,460	261,90

39) Bekanntlich ist die Richtung des Windes nicht stets genau horizontal und aus seiner Neigung gegen den Horizont muſs dann nothwendig ein Einfluſs auf die Stärke seines Stoſses gegen eine verticale Fläche erwachsen. Um diese Neigung zu messen, kann die oben (§. 4) von Benzenberg vorgeschlagene Vorrichtung dienen, zweckmäſsiger ist aber die von Schmidt selbst angegebene. Sie besteht, wie durch die punctirten Linien angedeutet ist, aus einer horizontalen Windfahne β, deren Ebene auf die der eigentlichen Fahne lothrecht gerichtet ist. Fig. 223. An dieser, die sich in ihrem Schwerpuncte bei γ leicht in verticaler Ebene bewegt, befindet sich ein, des Gleichgewichts wegen, mit dem Gewichte a beschwerter Zeiger, welcher auf dem Gradbogen g g die Neigung der Fahne gegen den Horizont und somit die Neigung der Windrichtung angiebt. Um den Einfluſs dieser Neigung auf den Stoſs gegen die vertical hängende Scheibe zu ermitteln, dient folgende Betrachtung. Heiſst der Neigungswinkel der Windrichtung gegen die horizontale Ebene α, so wird der Anstoſswinkel des Windes bei einem Ausschlagswinkel des Pendels $= \varphi$ hiernach $90° - \varphi + \alpha$ oder $90° - \varphi - \alpha$, und die gegebene Gleichung $s = \frac{p \,\text{Sin.}\, \varphi}{\text{Cos.}^2\, \varphi}$ verwandelt sich hiernach in

$$s' = \frac{p\,\text{Sin.}\,\varphi}{\text{Cos.}^2\,(\varphi - \alpha)} \text{ oder } s' = \frac{p\,\text{Sin.}\,\varphi}{\text{Cos.}^2\,(\varphi + \alpha)}.$$

Wird hierin $\alpha = 12°$ genommen, so erhält man nach den Versuchen von Bossut die in den beiden folgenden Tafeln berechneten Werthe.

Für 12° aufsteigenden Wind.			Für 12° niedersteigenden Wind.		
Winkel φ	Stoſs	Geschwindigkeit	Winkel φ	Stoſs	Geschwindigkeit
12 Grad	0,524 Loth	74,5 Zoll	12 Grad	0,621 Loth	81,5 Zoll
24	1,007	103,2	24	1,481	127,0
36	1,756	136,6	36	2,728	170,0
48	2,707	169,3	48	4,255	211,0
60	4,020	205,8	60	5,274	237,0
72	5,447	240,0	72	5,997	252,0
84	6,057	253,5	78	6,320	258,8

Vergleicht man die hier erhaltenen Werthe mit den in der vorigen Tabelle angegebenen, so ergiebt sich, daſs da, wo die

Abweichungen beider von einander am gröfsten sind, nämlich bei $\varphi = 36°$ bis $60°$, die zu gleichen Winkeln des Pendels gehörigen Geschwindigkeiten bei einem um 12 Grad aufsteigenden Winde um 0,1 kleiner, bei einem um ebenso viel niedersteigenden aber um 0,1 gröfser sind, als bei einem in horizontaler Richtung wehenden. Kleinere Abweichungen können daher füglich vernachlässigt werden, und da die angenommene von 12 Grad nicht leicht statt finden dürfte, so ist es unnöthig, hierauf besondere Rücksicht zu nehmen.

40) Die Versuche, welche Schmidt anstellte, um die Tauglichkeit des angegebenen Windmessers zu prüfen, sind nach seinem eigenen Urtheile nicht genügend; ob noch spätere, die er anzustellen und bekannt zu machen beabsichtigte, vorhanden sind, ist mir unbekannt. Es scheint mir indefs allerdings der Mühe werth, bei dem Aufschwunge, welchen die Meteorologie gegenwärtig genommen hat, dieses Anemometer und das von Beaufoy angegebene einer weiteren Prüfung, namentlich auch durch Versuche, zu unterwerfen, um demnächst durch Anwendung derselben eine bis jetzt bestehende wesentliche Lücke der Meteorologie auszufüllen.

41) Man ist in neueren Zeiten auch darauf bedacht gewesen, die durch Wolf vorgeschlagenen Anemometer brauchbarer und für genaue Messungen geeigneter zu machen. Dieses ist vorzugsweise durch Schober[1] geschehn, welcher hierzu eine kleine Windmühle wählte, an welcher eine Glocke angebracht war, die bei sechs Umdrehungen der Flügel angeschlagen wurde, wonach sich also die Mengen der Umdrehungen in einer gegebenen Zeit messen liefsen. Ungleich zweckmäfsiger ist die Einrichtung, welche Woltmann[2] diesem Apparate gab, den er dazu bestimmte, die Geschwindigkeit sowohl des strömenden Wassers, als auch des Windes zu messen. Er brachte an der Axe, an welcher die Windmühlenflügel befestigt sind, eine Schraube ohne Ende an, deren Windungen in die Zähne eines Rades eingreifen, dessen Axe mit einem Zeiger versehn ist, um die Menge der ganzen Umläufe der Windmühlenflügel zu messen. Bei jeder Umdrehung der

---

1 Hamburger Magazin. Bd. IX. St. 2 u. 3.

2 Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels u. s. w. Hamb. 1790. 4.

kleinen Mühlenwelle rückt das Rad um einen Zahn weiter, und die Art der Messung ist daher willkürlich, wird aber meistens so eingerichtet, dafs bei 30 Umläufen der Welle das Rad einmal ganz herumkommt und der Zeiger die Zahl der Umläufe zählt. Das Rad kann dann weiter so eingerichtet werden, dafs ein an ihm befindliches Getriebe in zwei sogenannte *hunting wheels* eingreift und sonach eine sehr grofse Menge von Umdrehungen zählbar macht.

42) Die Aufgabe, wie sich die Umläufe der Flügel zu der Geschwindigkeit des sie stofsenden Windes verhält, gehört zu den sehr schwierigen. Ohne hierüber in tiefere Untersuchungen einzugehn, wird Folgendes genügen, um eine deutliche Vorstellung der Sache zu erhalten. Zuvörderst mufs die Reibung so weit vermindert werden, dafs man sie als verschwindend vernachlässigen kann; doch ist dieses nicht in ganzer Strenge möglich, weil bei zunehmender Geschwindigkeit des Windes sein Druck wächst, dadurch also auch der Druck des hinteren Zapfens gegen seine Widerlage und somit dessen Reibung, obgleich seine konische Spitze von Stahl und die Widerlage von Achat seyn kann. Unter Voraussetzung, dafs hieraus keine bedeutenden Fehler erwachsen können, gelangt man leicht zu folgenden Resultaten. Der Haupttheil des Apparates besteht aus den Flügeln der kleinen Windmühle, deren Zahl zwar nicht nothwendig bestimmt ist, man wählt deren aber meistens vier, und zwar schon aus dem Grunde, weil die stofsende Luft hinreichenden Raum zum Abfliefsen haben mufs[1]. Auf der in der Richtung des Windes liegenden Axe c sind die vier Arme a, a, a, a so befestigt, dafs sie alle in der nämlichen Ebene liegen, auf welche der Wind lothrecht stöfst, und dafs sie unter sich Winkel von 90° bilden. An den Enden dieser Arme sind die rectangulären, sehr dünnen Scheiben *α*, *α*, *α*, *α* befestigt und sämmtlich in einem gleichen Winkel gegen die auf der Axe lothrechte Ebene der Stäbe gerichtet. Wenn dann der Wind gegen die schief gegen ihn gerichteten Flächen stöfst, so werden diese ihm seitwärts mit beschleunigter Geschwindigkeit ausweichen, bis der Widerstand gegen die Kraft des Stofses verschwindet, also die Flächen die nämliche Geschwindigkeit, als die des Windes, angenommen

Fig. 225.

1 Vergl. Art. *Windmühle.*

haben, und ihm mit einer der seinigen gleichen Geschwindigkeit ausweichen, was sehr bald eintreten wird, wenn die als verschwindend zu betrachtende Reibung kein bleibendes Hindernifs entgegensetzt. Beim Ausweichen der Flügel, die sich dann in Kreisen bewegen, müssen aber die von der Umdrehungsaxe ungleich entfernten Theile der kleinen Flügel eine ungleiche Geschwindigkeit annehmen, weil diese sich wie die durchlaufenen Räume, und letztere wie die beschriebenen Kreise oder deren Halbmesser verhalten. Es folgt aber aus der Natur der Sache, dafs, wenn die genau in der Mitte der Flügel liegenden Theile eine dem Winde genau gleiche Geschwindigkeit annehmen, die der Umdrehungsaxe näher liegenden hinter dieser zurückbleiben und daher einen Widerstand ausüben müssen, den wir einen positiven nennen wollen, während die von der genannten Mitte entfernteren vorauseilen und daher einen negativen Widerstand erzeugen. Weil aber beide Widerstände einander gleich sind, so werden sie sich aufheben und die mittleren Theile genau die Geschwindigkeit des Windes annehmen; der Einfachheit wegen macht man aber die Flächen der Flügel gröfser an Breite als an Höhe. Welcher Neigungswinkel der Flügel gegen die Ebene der Arme oder gegen die der Windrichtung lothrecht entgegenstehende Ebene für den beabsichtigten Zweck am geeignetsten sey, ist nicht mit absoluter Schärfe sicher bestimmt. Am einfachsten scheint es zu seyn, 45° als die Mitte zwischen dem ganzen und dem verschwindenden lothrechten Widerstande, bei denen gar keine Umdrehung der Flügel statt finden würde, zu wählen, Schober hält aber einen Winkel von 52° am geeignetsten. Heifst dann r der Halbmesser des von der Mitte des Flügels durchlaufenen Kreises und π die Ludolph'sche Zahl, so ist die Länge des während eines Umlaufes der Flügel durchlaufenen Kreises $2r\pi$, und wenn in 1 Secunde n Umläufe statt finden, so ist, die Geschwindigkeit v und die Länge der Radien in Fufsen genommen,

$$v = n2r\pi.$$

Auf diese Weise sind die im Art. *Wind* angegebenen Geschwindigkeiten des Windes gemessen.

43) Neuerdings hat man in England einige Windmesser in Vorschlag gebracht, die hier noch erwähnt zu werden verdienen.

Zuerst möge der von Robert Adie[1] zu Liverpool erfundene genannt werden, wofür ihm die Gesellschaft der Künste für Schottland die silberne Medaille zuerkannte. Gegen die bisher gebräuchlichen macht er vorzüglich den Einwand, dafs sie zu wenig empfindlich sind, und dafs die Federn, die durch die Kraft des Windes zusammengedrückt werden, nicht blofs mit der Zeit ihre Elasticität verlieren, sondern auch dem Einflusse der ungleichen Temperatur auf die Stärke ihrer Spannung unterliegen. Dieser letztere Einwurf trifft zunächst die nach Bouguer's Methode construirten, fällt aber bei den durch Beaufoy verbesserten weg; den ersteren Mangel macht er vorzugsweise gegen Lind's Windmesser geltend, welcher ihm am genauesten bekannt gewesen zu seyn scheint und ihn zum Theil auf den von ihm selbst erfundenen geführt hat, welcher allerdings an Empfindlichkeit alle andere bedeutend übertrifft.

Adie's Apparat besteht aus einem cylindrischen, mit Wasser gefüllten, blechernen Gefäfse GG, in welches ein anderer luftdichter Cylinder A herabgesenkt ist. Dieser hängt an einer Schnur, deren anderes Ende um die Rolle B, die auf der Axe C festsitzt, geschlungen ist. Auf dieser nämlichen, mit ihren Endzapfen in Zapfenlagern liegenden Axe sitzt gleichfalls die Schnecke[2] D fest, um welche eine Schnur gewunden ist, die am andern Ende das Gewicht W trägt. Das Gewicht des Cylinders A und das in W halten sich das Gleichgewicht und stellen den Zustand der Ruhe her, wenn die Schnur des letzteren um die höchste Windung der Schnecke geschlungen ist und also auf den längsten Hebelarm wirkt; sobald aber A durch verdichtetere Luft im Innern gehoben und also leichter wird, gelangt die Schnur der Schnecke D auf eine kleinere Windung und übt also eine geringere Kraft aus. Mit der Schnecke dreht sich zugleich die Axe, an deren einem Ende der Zeiger E festsitzt, Fig. 226.

1 Edinburgh New Philos. Journ. N. XLIV. p. 309.

2 In der Beschreibung heifst es eine Schnecke (mit spiralförmigen Windungen), in der Figur ist es eine Rolle. Auch diese würde genügen und obendrein einfacher für die Verfertigung und die Berechnung seyn. Die Empfindlichkeit des Instrumentes und die Gröfse des vom Zeiger durchlaufenen Bogens hängt dann von der Kleinheit des Durchmessers der Rolle B ab, der Kasten A wird aber aus hydrostatischen Gründen so viel schwerer, mufs also durch einen so viel stärkeren Wind gehoben werden, je höher er steigt.

dessen Spitze auf einem getheilten Kreise die Grade der Umdrehung angiebt. Zum Messen des Maximums und des Minimums der Windstärke dienen zwei fliegende Zeiger, die durch den Hauptzeiger fortgeschoben an der erreichten Stelle zurückbleiben. In dem innern Cylinder A befindet sich die Oeffnung eines gebogenen Rohres, welches durch den Boden des gröfseren Cylinders geführt und dann aufwärts gebogen ist. Die weitere Construction ist durch die Zeichnung nicht erläutert, sondern blofs beschrieben. Am oberen Ende H der Röhre befindet sich nämlich eine Kammer mit einer trichterförmigen Oeffnung, die dem Winde allezeit entgegensteht. Um dieses zu erreichen, ist die Kammer der Oeffnung diametral gegenüber mit einer Windfahne versehn und um die Oeffnung der Röhre H drehbar, indem ein Quecksilberventil sie luftdicht macht[1]. Der Stöpsel P endlich dient dazu, um das etwa in die Röhre geflossene Wasser abzulassen.

Man ersieht leicht, dafs der Cylinder A leichter werden, aufsteigen und daher die Axe mit dem Zeiger umdrehn mufs, wenn die Luft durch das Einblasen des Windes in die trichterförmige Oeffnung in ihm verdichtet wird. Allerdings läfst sich auf diese Weise eine grofse Empfindlichkeit erreichen, weil auch die geringste Verdichtung der Luft den hydrostatischen Stand des Cylinders ändern mufs; in welchem Verhältnifs dieses aber mit der Geschwindigkeit des Windes steht, soll durch Versuche ermittelt werden, was eine bei weitem schwierigere Aufgabe, als die Erfindung eines Windmessers ist, und eben daher ist diese von Adie ungelöst gelassen. Uebrigens ver-

1 Diese Beschreibung ist offenbar mangelhaft, und läfst den Beurtheiler aufser Stand, die Brauchbarkeit des Apparates zu prüfen. Das Quecksilberventil verdient auf jeden Fall kein Vertrauen. Ist es nach aufsen frei, so kommt Regen und Staub hinzu, und das Eisen rostet, auch durch blofse feuchte Luft, ohne Zutritt des Wassers, sehr schnell, wenn es mit Quecksilber in Berührung steht, die Verdunstung des Quecksilbers selbst nicht zu erwähnen. Aufserdem ersieht man nicht, wie auf diese Weise eine genügende Stabilität der Kammer und ihrer trichterförmigen Oeffnung erhalten wird. Es wäre übrigens leicht, den ganzen Kasten GG um eine verticale Axe drehbar zu machen und mit einer Windfahne zu versehn, um die Röhre H nebst ihrer trichterförmigen festsitzenden Oeffnung stets dem herrschenden Winde entgegenzurichten.

suchte er verschiedene Formen der dem Winde entgegengerichteten Oeffnung, fand aber den Trichter am geeignetsten.

44) Bei den jüngsten, in England gemachten Vorschlägen zu Anemometern bezweckte man, sowohl die Geschwindigkeit, als auch die Richtung der Winde zu messen und beide zugleich zu registriren. Von dieser Art ist das durch FORBES[1] empfohlene, was jedoch nicht ausgeführt worden zu seyn scheint, denn sonst würden sicher die Resultate der Erfahrung nicht fehlen, dabei aber auch die Schwierigkeiten sich herausgestellt haben, die seiner praktischen Anwendbarkeit entgegenstehn. Seinen wesentlichen Theilen nach besteht dieser Windmesser aus einem starken, hinlänglich zu befestigenden Brete CD, auf Fig. welchem die möglichst dünnen Metallstäbe GE und HF be- 227. festigt und oben durch den Querbalken EF verbunden sind. Letzterer trägt den zur Windmessung bestimmten Apparat, nämlich zuerst die Windmühle A mit verticaler Axe und dünnen, in verticalen Ebenen liegenden Flügeln. Diese kleine Mühle ist zum Theil mit einem in der Zeichnung nicht aufgenommenen, durch eine Windfahne drehbaren Kasten so umgeben, daſs nur ein Theil der Flügel vorsteht und durch den Stoſs des Windes getroffen wird. Je nach der Stärke des Windes läuft die Mühle schneller um und es könnte daher die Menge dieser Umläufe als Maſs seiner Geschwindigkeit dienen; da aber diese auf eine andere Weise gemessen wird, so darf man dieses Mittel vernachlässigen, und es lieſse sich die Bewegung des Apparates auch durch ein Uhrwerk bewerkstelligen, was im Ganzen noch räthlicher seyn dürfte. Die Axe der Mühle hat am unteren Ende ein Getriebe a, welches ein gezahntes Rad b umdreht, auf dessen Axe c eine Schraube ohne Ende eingeschnitten ist, um ein unten an der runden Kapsel B hervorragendes gezahntes Rad um seine verticale Axe umzudrehn. Die Scheibe dieses Rades hat gegen den Rand hin zwischen zwei concentrischen Kreisen einen Ausschnitt; über ihr liegt eine zweite Scheibe, beiden Flächen parallel, mit einem Loche über jenem Ausschnitte, und über dieser eine dritte, an der Axe befestigte Scheibe, gleichfalls mit einem Ausschnitte. Wenn dann die untere und obere Scheibe mit ihrer gemeinschaftlichen Axe in der horizontalen Ebene umgedreht

1 Edinburgh Journal of Science. New Ser. N. III. p. 31.

werden und hiernach die Einschnitte und das Loch der mittleren Scheibe über einander zu liegen kommen, so fällt eine der vielen über ihnen in der Kapsel liegenden Kugeln auf das Bret CD herab. Aus der Menge der in gegebener Zeit herabgefallenen Kugeln lieſse sich daher die Zahl der Umdrehungen und somit die Stärke des Windes finden, allein, wie bemerkt, soll diese anderweitig gefunden werden, doch können die Resultate beider zur Vergleichung und gegenseitigen Controle dienen.

Fig. 228. 45) Um sowohl die Richtung, als auch die Stärke des Windes zu messen, liegt auf dem Brete CD des Apparates eine Scheibe ABCD, die in beliebig viele, am besten acht, Sectoren durch dünne aufstehende Schienen getheilt ist. Sechs gleich weit von einander abstehende concentrische Schienenkreise theilen die acht Sectoren dieser Scheibe in 48 Fächer, die zwischen den schmalen Einfassungen auf angemessene Weise vertieft sind. Wenn dann die Kugeln aus der Kapsel herabfallen, so würden sie ohne äuſseren Einfluſs in der Richtung der punctirten Linie lothrecht herabfallend in das Centrum der Scheibe gelangen; werden sie aber durch den Wind getroffen, so treibt dieser sie von der lothrechten Falllinie seitwärts, und die Vertiefung, worin man sie findet, giebt durch ihre Lage unmittelbar die Richtung des Windes an, ihr Abstand vom Centrum aber die Stärke des Windes, welcher ihre Ablenkung von der lothrechten Falllinie bewirkte. Um die der Gröſse und dem specifischen Gewichte der fallenden Kugeln, der Höhe des Fallraumes und der Stärke des Windes zugehörige Ablenkung zu finden, legt Forbes die für den Widerstand der Mittel von Newton[1] aufgestellten Gesetze und im Allgemeinen die Berechnungen zum Grunde, welche Robison[2] gegeben hat. Die Fallhöhe nimmt er zu 4 Fuſs an, zeigt aber, daſs auch 1 Fuſs Höhe genügende Resultate geben könne. Die Kugeln werden zu 0,2 Zoll Durchmesser angenommen und würden am besten von gleichem specifischen Gewichte mit dem Wasser gewählt werden. Die Resultate der theoretischen Berechnung, wobei

---

1 Principia. Lib. II.

2 Art. *Projectils* in Encyclopaedia Britannica. Man findet sie auch in dessen Mechanical Philosophy. Edinb. 1822. 4 Voll. 8. T. II. p. 261. Vergl. Art. *Widerstand der Mittel*.

die Kraft des Windstofses dem Quadrate der Geschwindigkeit und die letztere nach dem bekannten Fallgesetze der Quadratwurzel aus der Fallhöhe proportional angenommen wird, stimmen mit den Versuchen Hutton's sehr gut überein.

46) Hiernach erscheint also die Construction des Apparates theoretisch sehr wohl begründet zu seyn, allein der praktischen Ausführung stehn so bedeutende Hindernisse entgegen, dafs es eine vergebliche Mühe seyn dürfte, Tabellen zu berechnen, um durch blofses Nachsehn der Fächer, worin sich die Kugeln befinden, zugleich die Richtung und Stärke des Windes zu erhalten. Bekanntlich ist die Kraft, welche eine bewegte Flüssigkeit gegen einen ruhenden Körper ausübt, nicht genau dem Widerstande gleich, welchen der bewegte Körper in der ruhenden Flüssigkeit bei gleichen Geschwindigkeiten erleidet, weswegen also Hutton's Versuche für den vorliegenden Zweck keine genügende Grundlage darbieten, und Robison selbst gesteht, dafs auch das Problem, die Stärke des Widerstandes aus der Geschwindigkeit und dem specifischen Gewichte der Flüssigkeiten mit absoluter Schärfe zu berechnen, aller Bemühungen ungeachtet noch nicht vollständig gelöst sey. Angenommen aber, es sey für dieses alles eine hinlänglich feste Basis vorhanden und das Verhältnifs des Widerstandes einer Kugel zu dem einer Fläche durch ihren Mittelpunct völlig bestimmt, so dürfte die dann noch erforderliche absolut genaue Bestimmung der Gröfse und des specifischen Gewichtes der Kugeln unüberwindliche Schwierigkeiten herbeiführen. Forbes schlägt hölzerne Kugeln oder auch getrocknete Erbsen vor, allein letztere müfsten genau ausgesucht werden, um vollkommen rund zu seyn, beide aber dürften hinsichtlich ihres Volumens und specifischen Gewichtes dem Einflusse der Feuchtigkeit, insbesondere beim Regen, allzusehr ausgesetzt seyn. Ob die gewählten Kugeln nicht durch wiederholtes Herabfallen ihre Gestalt ändern könnten, mag auf sich beruhn, eine bedeutende Unsicherheit ist aber auf keine Weise zu vermeiden, wenn wir auch alle bisher erwähnten Hindernisse als beseitigt betrachten wollten. Diese beruht darauf, dafs die herabfallenden Kugeln sehr häufig auf die hervorstehenden Rippen unter sehr verschiedenen Winkeln aufschlagen, hiervon zurückspringen und dann wieder in Fächer fallen müssen, die den Beobachter ganz irre führen und zu

durchaus falschen Resultaten veranlassen würden. Sofern es daher weit bessere Anemometer giebt, die dem Erfinder des jetzt beschriebenen nach ihrer eigentlichen Construction nicht genau bekannt gewesen zu seyn scheinen, wird man mehr zu diesen seine Zuflucht nehmen.

47) Bei den Berathungen der Versammlung britischer Naturforscher nehmen meteorologische Beobachtungen und Werkzeuge die Aufmerksamkeit vorzugsweise in Anspruch, und man darf mit Recht behaupten, dafs der von dort her gegebene Impuls zu der Hoffnung berechtigt, die Meteorologie werde baldigst einen ihr gebührenden Rang unter den verschiedenen naturwissenschaftlichen Disciplinen erhalten. Bei dieser Gelegenheit sind mehrmals Anemometer vorgezeigt worden und die Erfinder haben zugleich über die Anwendbarkeit derselben Bericht abgestattet, Zeichnungen davon sind mir aber nicht bekannt geworden, doch lassen sie sich auch ohne diese hinlänglich deutlich machen. Die vorzüglichsten dort namhaft gemachten und bereits durch Erfahrung geprüften sind die von Osler und von Whewell erfundenen. Letzterer brachte die Aufgabe zuerst in Anregung bei der Versammlung zu Dublin[1] im Jahre 1835, und stellte das eigentlich zu lösende Problem fest. Es müsse nämlich, wie er fordert, der Gesammtbetrag der Luftströmungen, die an irgend einem Orte in verschiedenen Richtungen statt finden, aufgezeichnet werden, die Summe dieser Aufzeichnungen gebe dann für eine gewisse Zeit den Typus der Winde an dem bestimmten Orte, und wenn man mehrere Jahre zusammennehme, den mittleren jährlichen Typus. Erst dann, wenn man solche von verschiedenen Orten erhalten habe, lasse sich über die Luftbewegungen im Allgemeinen urtheilen. Bei der zweitfolgenden Versammlung[2] zu Liverpool im Jahre 1837 stattete er weiteren Bericht ab über das von ihm für diesen Zweck erfundene Anemometer, welches zur Zeit der genannten Versammlung und auch der nächstfolgenden zu Bristol noch nicht vollendet, seitdem aber von Challis zu Cambridge,

---

1 London and Edinburgh Philos. Magaz. N. XL. p. 315. Cambridge Transactions. T. VI. part. 2. Letzteres Werk, worin die vollständige Beschreibung enthalten ist, habe ich nicht zur Hand.

2 S. ebendaselbst N. LXIX. p. 474. Vergl. Six report of Brit. Assoc. Notices. p. 39. Supplementary Report on Meteorology. By James D. Forbes. Lond. 1841. p. 103.

Forbes und Rankin zu Edinburg, Snow Harris und Southwood zu Plymouth wirklich gebraucht worden war. Dasselbe besteht aus einer gewöhnlichen Windfahne, welche zugleich dem Winde eine kleine Windmühle, wie die Ventilatoren in den Fenstern, entgegenrichtet. Die Axe dieser Mühle pflanzt durch Räder und Getriebe ihre sehr schnelle Bewegung fort und macht sie so langsam, dafs durch 1000 Umläufe derselben ein unten angebrachter Pinsel nur 0,05 eines engl. Zolles abwärts bewegt wird. Dieser Pinsel hat eine horizontale Richtung und zeichnet mit schwarzer Farbe auf einem weifs lackirten, vertical stehenden Cylinder, welcher dem ganzen Apparate zur Stütze dient, eine dicke schwarze Linie. Da sich der Apparat nach der wechselnden Windrichtung um diesen Cylinder dreht, so giebt die horizontale Linie die Richtung, die Länge der verticalen aber die Stärke des Windes und die Zeitdauer an, während welcher er in der nämlichen Richtung wehte, die Zeit vom einen Nachsehn der Zeichnung bis zur nächstfolgenden als bekannt vorausgesetzt. Hiermit wollte der Erfinder den Mangel ersetzen, welcher sich in den bisher vorhandenen Verzeichnissen der mittleren Windrichtungen, namentlich auch denen von Kämtz, findet, bei denen die schwächsten Winde mit den Stürmen auf gleiche Linie gestellt sind. Einige graphisch dargestellte Beobachtungen, die zu Cambridge auf der Sternwarte und zugleich auf dem Hause der dortigen Societät der Wissenschaften angestellt worden waren, bewiesen durch ihre nahe Uebereinstimmung die Brauchbarkeit des Apparates.

48) Diese Verhandlungen bewogen Osler[1] aus Birmingham, das von ihm erfundene und in den ersten acht Monaten des Jahrs 1837 geprüfte Anemometer zu beschreiben, wozu ihn namentlich Whewell aufforderte. Dieses besteht aus einer gewöhnlichen Windfahne, welche an einer Stange oder vielmehr der gröfseren Stärke wegen an einer Röhre festsitzend diese letztere zugleich mit sich umdreht. Am untersten Theile derselben befindet sich ein Getriebe, welches in ein gezahntes Rad eingreift und dieses nach der jedesmaligen Windrichtung umdreht, während ein an demselben befestigter Pinsel auf einem sich aufrollenden und durch ein Uhrwerk jede Stunde

1 British Association. 7th Report. Description of a self-registering Anemometer and Rain-Gauge. Birm. 1839. 4.

um 1 Zoll fortgezogenem Papierstreifen, auf welchem zugleich die Windrichtungen gezeichnet sind, eine Linie zieht. Hierdurch wird also die jederzeitige Windrichtung, nebst ihrer Dauer, genau gegeben. Zum Messen der Stärke des Windes dient eine Tafel von 1 Quadratfufs Flächeninhalt, die in verticaler, auf die der Windfahne senkrechter Ebene mit letzterer so verbunden ist, dafs ihre Fläche stets dem gerade herrschenden Winde entgegengerichtet wird. Als Träger derselben dienen zwei zwischen Frictionsrollen verschiebbare Arme, die gegen eine Spiralfeder drücken, sobald der Wind gegen die Tafel stöfst und diese zurücktreibt. Vermittelst eines Drahtes, welcher durch die Röhre, die als Träger dieses Apparates und der Windfahne dient, herabgeht, wird unten ein zweiter Pinsel der Stärke des Druckes proportional in Bewegung gesetzt und zeichnet auf dem nämlichen Papierstreifen Linien, die durch ihre Länge die Stärke des Windes und somit seine Geschwindigkeit angeben. Whewell war sehr mit dieser Einrichtung zufrieden, meint aber, sie gebe wohl die Stärke des Windes, nicht aber den Gesammteffect (*integral effect*) an[1]. Dieser Vorwurf dürfte aber wohl nicht ganz begründet seyn; denn wenn die Linien auf dem bewegten Papierstreifen die jedesmalige Stärke, der Streifen selbst aber durch sein Fortrücken die Zeitdauer angeben, so hat man hierdurch die beiden Factoren des gesuchten Productes; auch bemerkte Lloyd, dafs die Striche, welche die Windstärke angeben, als Ordinaten, die Längen des fortgerückten Papiers als Abscissen betrachtet werden könnten, wonach die Flächen den Gesammteffect des Windes geben müfsten und man daher nur den bezeichneten Papierstreifen ausschneiden und wägen dürfte, um diesen zu erhalten.

49) Beide letztgenannte Windmesser wurden den Mitgliedern der jüngsten antarktischen Expedition unter Capitain John Ross zum Gebrauche empfohlen. Die Verfasser der für diese bestimmten Instruction[2] machen dabei in Beziehung auf den von Osler erfundenen die Bemerkung, dafs die erhaltenen Resultate einer Verbesserung wegen des Aufstauens des Windes

1 Hierunter versteht Whewell nach dem Vorigen das Product aus der Dauer und der Stärke.

2 S. London and Edinb. Philos. Magaz. N. XCV. p. 216.

vor der gestoſsenen Scheibe bedürfen würden, ohne jedoch anzugeben, woher diese zu entnehmen sey[1]; auſserdem aber empfehlen sie, die aus der ungleichen Temperatur hervorgehende verschiedene Elasticität der Feder allezeit durch aufgelegte Gewichte empirisch zu corrigiren. Ueber das von Whewell erfundene Anemometer urtheilen sie, es sey zusammengesetzter in seiner Construction und entstehenden Unordnungen leichter ausgesetzt. Gegen beide dürfte sich erinnern lassen, daſs das Aufzeichnen der Linien durch Pinsel beschwerlicher und unsicherer ist, als durch Bleistifte, die man leicht durch schwache Federn so weit andrücken kann, als zur Erzeugung hinlänglich kenntlicher Linien gerade erforderlich ist. Dabei muſs man sich übrigens wundern, daſs zur Messung der Windstärke Federn gewählt sind, und nicht viel mehr Gewichte mit Schnüren, die sich auf Spiralen wickeln, da diese bereits früher, namentlich auch durch Beaufoy, angegeben worden sind.

50) Eine früher, als die beiden letztgenannten, bekannt gewordene Vorrichtung zum Messen der Richtung und Stärke des Windes, die sich leicht durch einen den bereits angegebenen ähnlichen Mechanismus zur graphischen Aufzeichnung einrichten lieſse, theile ich um so lieber mit, als sie wegen ihrer Einfachheit wohl den Vorzug vor vielen andern haben dürfte[2]. Der bloſse Anblick der Zeichnung genügt, um eine Vorstellung von derselben zu erhalten, und ich füge daher nur eine kurze Beschreibung mit dem Bemerken hinzu, daſs ich in einigen nicht wesentlichen Stücken vom Originale abgewichen bin, um zugleich die Selbstregistrirung mit aufzunehmen. In der Zeichnung sieht man die gemeine Windfahne, die, hin- Fig. länglich hoch über das Dach A A vorstehend, an der hohlen 229. Stange C C festsitzt. Letztere geht in das Beobachtungszimmer herab und hat an ihrem unteren Ende ein Getriebe O, welches in ein gleichfalls horizontales Rad P von einer gleichen Anzahl Zähne eingreift, dieses umdreht und bewirkt, daſs der hieran

1 Aus dem, was hierüber im Art. *Wind*, *Geschwindigkeit desselben*, gesagt worden ist, würden sich annähernde Bestimmungen hierfür entnehmen lassen.

2 Ich entnehme die Beschreibung aus Dingler's polytechn. Journ. Bd. XXV. S. 223. Sie ist aus Mechanics Magaz. N. 192 vom 28. Apr. 1827. S. 264.

befestigte Stift π auf der darunter liegenden Tafel $\alpha\alpha$ die Richtung des Windes aufzeichnet[1]. Eine Schiefertafel und ein geeigneter Zeichenstift würden hierzu am paſslichsten seyn, auch ist zum Ueberflusse die schwache Feder γ angedeutet, welche diesen Stift in seiner Hülse gerade genügend herabdrückt. Da man nach beliebigen Zeitintervallen die gezeichneten Linien wegwischen kann, so ist hiermit die Richtung des Windes vollständig gegeben; verlangte man aber noch mehr, so lieſse sich die Tafel leicht durch ein Uhrwerk bewegen, was aber neue Schwierigkeiten herbeiführen würde und für anhaltende Beobachtungen als durchaus überflüssig erscheint.

Fig. 230. 51) Zum Messen der Stärke des Windes dient der in gröſserem Maſsstabe gezeichnete Rahmen EDF, welcher vertical auf dem Pfeile der Windfahne so aufgesetzt ist, daſs beider Ebenen rechtwinkelig auf einander gerichtet sind. Dieser Rahmen trägt den um die feine Axe EF leicht beweglichen, dünnen Schirm A, an dessen oberer Seite die Rolle G (statt deren auch ein Halbkreis oder selbst ein Quadrant genügen würde) befestigt ist. Von dieser läuft eine Schnur H über die Rolle L durch die Röhre CC hinab und ist unten um die Rolle k geführt, dann um die Scheibe ll geschlungen und ihr Ende durch eine Spiralfeder oder ein Gewicht erforderlich gestrafft. Die Rolle ll trägt den Stab t, an dessen einem Ende durch die Hülse μ ein Stift herabgeht, um auf der unten horizontal liegenden Tafel rr die Stärke des Windes graphisch darzustellen. Drückt der Wind mit der seiner Geschwindigkeit zugehörenden Gewalt die Tafel A zurück, so zieht die Rolle G die Schnur an, die Scheibe ll wird umgedreht und der Stift registrirt die zugehörige Windstärke, und da der Raum, durch welchen der Schirm A gehoben wird, nicht mehr als einen Quadranten betragen kann, so darf man nur der Rolle G den vierfachen Radius der Rolle ll geben, um für den Unterschied der Windstärke einen ganzen Kreis zu erhalten. Nach der ursprünglichen Angabe steht die Ebene der

1 Nach dem Original soll die Ebene des Rades vertical stehn und an seiner horizontalen Axe einen Zeiger tragen, welcher auf einem Zifferblatte die Windrichtung angiebt. Die von mir angenommene horizontale Lage der Räder und der Scheibe ist offenbar einfacher, bequemer und sicherer.

Rolle ll vertical und trägt einen Zeiger, um auf einem gleichfalls verticalen Zifferblatte die Stärke des Windes anzugeben, was man sich auch ohne Zeichnung leicht vorstellen kann. Man hat bei dieser Construction eine unüberwindliche Schwierigkeit in dem Umstande gefunden, dafs die Schnur, welche die Rolle ll umzudrehen dient, durch den veränderlichen Feuchtigkeitszustand, und wenn man statt ihrer einen Draht wählen wollte, durch die ungleiche Temperatur verkürzt oder verlängert wird; allein diesem Uebelstande ist leicht abzuhelfen. Zuvörderst ist die Ausdehnung des Metalls durch Wärme ungleich kleiner, als die der Schnüre aus animalischen oder vegetabilischen Stoffen durch die Feuchtigkeit; erstere würden daher einen Vorzug vor den letzteren haben, wenn nicht von der andern Seite ihre geringere Biegsamkeit diesen Vortheil mehr als gänzlich aufhöbe. Dennoch aber würde rathsam seyn, die ganze, durch die Röhre herabgehende Länge aus Metalldraht zu verfertigen und das Gewicht desselben, so wie die Kraft der auf das Ende der Schnur wirkenden Spiralfeder, durch ein an der Rolle L oder selbst G angebrachtes Gegengewicht zu balanciren, um die Kraft auch der leisesten Windstöfse zu messen. Würden dann die über die Rollen oben und unten geschlungenen oder nur über sie hinlaufenden Schnüre aus den hygroskopischen Substanzen verfertigt, so könnte ihre Ausdehnung wegen ihrer geringen absoluten Länge nicht grofs seyn, aber auch diese geringe Gröfse läfst sich beseitigen. Man darf zu diesem Behuf nur das untere Ende der Windfahnenstange, da dieser Apparat an jedem Tage gewifs mehrmals beobachtet wird, mit der Hand um 90° von dem Stande, den sie gerade einnimmt, nach der einen oder andern Seite herumdrehn, um die Platte A lothrecht herabhängend zu machen, und die Gröfse, um welche dann der Zeiger vom Nullpuncte der Scheibe rr absteht, giebt den Fehler an, welcher der vorausgegangenen Beobachtung zugehört. Da der Zeiger aber oder der Stab t auf dem ihn bewegenden Zapfen nur aufgesteckt ist, so wird man ihn jederzeit wieder auf 0 der Theilung stellen, und der nachher gefundene Fehler würde daher annähernd nur etwa zur Hälfte als Verbesserung einzuführen seyn. Es dürfte hiernach dieser am wenigsten zusammengesetzte und durchaus nicht künstlich eingerichtete Apparat vor allen andern den Vorzug verdienen.

52) Am 11ten November 1837 zeigte Combes[1] dem französischen Institute ein Anemometer, welches zwar eigentlich nur bestimmt ist, die *Geschwindigkeit der Luftströmungen in den Galerieen* und *Minen* der Bergwerke zu messen, und außerdem auf keine neuen Principien gebaut ist, allein dennoch hier erwähnt zu werden verdient, zum Theil auch deswegen, weil einige Untersuchungen darin vorkommen, die sich unmittelbar an die bereits mitgetheilten anschließen. Dasselbe ist ein sehr kleines, fein gearbeitetes Instrument und auf das zuerst durch Wolf aufgestellte Princip gegründet. Eine kleine, mit feinen Spitzen in Achat laufende Axe trägt am einen Ende vier sich kreuzende Stangen mit feinen Rahmen, in denen kleine Scheibchen von Rauschgold oder dünnen Metallblechen ausgespannt sind und mit ihrer auf die Axe perpendiculären Rotationsebene einen Winkel von 20 bis 25 Grad bilden. Die Axe mit diesen Flügeln wiegt nicht mehr als 2,865 Gramm. In ihrer Mitte befindet sich eine Schraube ohne Ende, die in ein Rad von 100 Zähnen eingreift, welches letztere durch einen kleinen Zapfen ein zweites Rad von 50 Zähnen jederzeit um einen Zahn weiter schiebt. Beide Räder haben auf ihre Axen aufgesteckte Zeiger, die andere sogenannte fliegende Zeiger vor sich hin schieben und somit von 1 bis 5000 Umläufen der kleinen Windmühle zählen. Das ganze Instrument ruht auf einer Kupferscheibe, die Flügel spielen frei, doch lassen sie sich augenblicklich anhalten und wieder frei beweglich machen durch einen Winkelhebel, welcher zwischen ihre Arme greift, und durch einen zweiten kleinen Hebel, welcher mittelst zwei seidener Fädchen bewegt wird, so daſs er die Flügel augenblicklich frei läſst oder anhält, ohne daſs sich der Beobachter dem Instrumente nähert. Das Anemometer wird dann auf einen Pfeiler in den Luftzug so gestellt, daſs seine Axe in der Richtung desselben liegt; der Beobachter verbirgt sich in einem Winkel oder hinter einem Pfeiler, um nicht störend einzuwirken, mittelst der Fädchen läſst er die Flügel frei und arretirt sie wieder, miſst genau die dazwischen verflossene Zeit, und liest dann die Zahl der Umdrehungen nach der Angabe der Zeiger ab, um auf diese Weise die

---

1 L'Institut 1837. T. V. p. 410. Das Instrument ist eigentlich ein sehr kleiner Woltmann'scher Windmesser.

Geschwindigkeit der Strömung, und somit die Menge des in gegebener Zeit durch einen gemessenen Raum strömenden Gases zu messen. Obgleich also das Instrument nicht eigentlich zum Messen der Geschwindigkeit des Windes bestimmt ist, übersieht man doch bald, dafs es füglich auch hierzu verwandt werden könne.

53) Combes bemühte sich, durch die Theorie unterstützt, das Verhältnifs zwischen der Geschwindigkeit der Luftströmung und der Zahl der Umdrehungen der Flügel durch Erfahrung zu finden. Die zu diesem Zweck angestellten Versuche haben insofern einen Vorzug vor den zahlreichen früheren, als sie mit dem Instrumente selbst gemacht wurden. Zu diesem Zwecke diente eine Maschine, mittelst welcher eine eiserne Stange, ein Meter lang, in horizontaler Ebene umgedreht wurde. Am Ende derselben war das Anemometer so befestigt, dafs die Axe desselben in der Bahn des beschriebenen Kreises von 1 Meter Halbmesser lag. Mit dem Uhrwerk waren Windflügel verbunden, durch deren Stellung die Umdrehungen geschwinder und langsamer gemacht werden konnten. Die seidnen Fädchen waren der Länge nach über der eisernen Stange hin durch ein Loch im Zapfen des Centrums gezogen, so dafs man sie anziehn und dadurch die Flügel des Anemometers feststellen oder frei lassen konnte, ohne die Maschine anzuhalten. Auf diese Weise liefs sich also die den Umläufen der kleinen Flügel zugehörige Geschwindigkeit der Luftbewegung mit völliger Genauigkeit messen, unter der Voraussetzung, dafs es gleiche Resultate giebt, wenn die bewegte Luft gegen eine ruhende Fläche und wenn diese bewegte Fläche gegen die ruhende Luft stöfst. Dieses setzt Combes voraus[1], und nimmt zugleich als allgemein zugestanden an, dafs der senkrechte Stofs einer gleichmäfsig bewegten Flüssigkeit gegen eine ebene Fläche der Gröfse dieser Ebene und dem Quadrate der Geschwindigkeit der Bewegung proportional sey, wonach also die hierauf gegründete theoretische Formel seyn würde:

$$v = \sqrt{\frac{Cg}{k\pi a \,\text{Sin.}\,\alpha\,\text{Cos.}^2\alpha}} + \text{Tang.}\,\alpha \times u,$$

---

1 Die Zweifel und Gründe hiergegen sind im Art. *Wind, Geschwindigkeit desselben*, erörtert worden.

worin v die Geschwindigkeit in 1 Secunde, u die gleichmäſsige Geschwindigkeit des Centrums der Flügel, $\frac{\pi}{g}$ die Dichtigkeit der Luft, welche gegen die Flügel stöſst, C einen constanten, von der Reibung der Theile des Anemometers abhängenden, auf einen gegebenen Hebelarm bezogenen Coefficienten, k einen numerischen, aus de Borda's Versuchen zu entnehmenden Factor bezeichnen. Da die Geschwindigkeit u der Zahl der Umdrehungen der kleinen Windmühle in einer gegebenen Zeit proportional ist, so darf man nur diese Zahl durch n bezeichnen, und erhält dann

$$v = a + b + n,$$

worin a und b numerische Coefficienten bezeichnen. Aus 27 Versuchen, worin die Geschwindigkeit zwischen 0,37 und 3,46 Meter in 1 Secunde wechselte, nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, fand sich

$$v = 0{,}1971 + 0{,}0906\,n$$

in Metern. Die durch Versuche und Rechnung erhaltenen Gröſsen stimmten so genau mit einander überein, daſs keine der Abweichungen über 0,03 hinausging.

54) Wollte man von diesem Drehungsapparate zum Vortheil der eigentlichen Anemometer Gebrauch machen, so würde es rathsam seyn, Flügel von ungleichem Flächeninhalte anzuwenden, und die Geschwindigkeiten so weit als möglich zu vergröſsern, um namentlich für die Ausmittelung des Windstoſses bei heftigen Stürmen eine feste Grundlage der Messungen zu erhalten. Das Wichtigste wäre dann, durch einige feine Versuche bei bekannter Geschwindigkeit der Luftströmung zu ermitteln, ob bei solchen nicht hohen, in einem Winkel von etwa 45° gegen die Stoſsebene gerichteten Flügeln die Geschwindigkeit des Windes genau der ihres Mittelpunctes gleich ist, wobei zugleich ein constanter Factor für die Reibung aufzusuchen wäre, der auf jeden Fall nicht groſs seyn könnte. Sollte sich dieses als ausgemacht herausstellen, so dürfte es leicht seyn, mit Anwendung der besten unter den vielen in diesem Artikel angegebenen Vorrichtungen Windmesser zu erhalten, mittelst deren die Geschwindigkeit des Windes auch im Groſsen leicht meſsbar seyn würde.

M.

Windmühle.

Mola movens se ope venti, mola pneumatica; Moulin à vent; *Wind-mill.*

Den Windmühlen ist in der alten Ausgabe dieses Werkes kein eigener Artikel gewidmet, ja sie werden darin gar nicht erwähnt, weil ihre Construction nicht eigentlich in das Gebiet der Physik gehört, sondern zunächst in die angewandte Mechanik oder die praktische Maschinenlehre. Weil aber alle durch eine physische Kraft unmittelbar bewegte wichtige Maschinen in unserm Werke bisher berücksichtigt worden sind, so darf der Vollständigkeit wegen auch diese nicht gänzlich fehlen. Eine erschöpfende Bearbeitung dieses Gegenstandes kann übrigens nicht erwartet werden, vielmehr wird es genügen, nur die Hauptsachen zu erwähnen.

Nach den Untersuchungen von Busch[1] werden die Windmühlen zuerst um das Jahr 1105 erwähnt, sie waren um diese Zeit in Frankreich und vor 1143 in England bekannt; die sogenannten *holländischen* Windmühlen, die aus einem feststehenden runden Thurme bestehn und bei denen bloſs das Dach mit den Flügeln und ihrer Axe beweglich ist, sollen um 1650 von einem Künstler in Flandern erfunden worden seyn. Seitdem sind sie vielfach abgeändert worden. Bei weitem die meisten haben in einer verticalen Ebene bewegliche Flügel, und zwar vier, selten sechs oder gar acht, inswischen sind solche allerdings vorgeschlagen worden[2]. Die Flügel bewegen sich in einer verticalen Ebene, und die Schriftsteller, welche die Aufgabe im Allgemeinen behandeln, beschränken sich auf die gewöhnlichen mit vier in verticaler Ebene beweglichen Flügeln, ohne den Unterschied im Baue bei den sogenannten

---

1 Handbuch der Erfindungen. Bd. XII. Eisenach 1822. S. 383.

2 Die neuerdings von A. Durand ausgeführte, von der Prüfungscommission des Pariser Instituts sehr günstig beurtheilte, hat sechs Flügel. S. Comptes rend. 1842. T. XIV. N. 12. p. 422. Sonstige Vorschläge zu 6 Flügeln giebt es mehrere, die ausgeführten haben sich aber nicht als vortheilhaft bewährt.

holländischen und den deutschen zu berücksichtigen, welcher auch in Beziehung auf den mechanischen Effect gleichgültig ist, wenn gleich die holländischen im Allgemeinen eine grössere Festigkeit und mehr Bequemlichkeit darbieten. Es wird daher auch hier genügen, nur diese Classe zu berücksichtigen, ohne auf die verschiedenen anderweitigen Constructionen einzugehn, zu deren gründlicher und ausführlicher Erörterung mir ohnehin die erforderlichen literärischen Hülfsmittel nicht zur Hand sind.

Die Construction und die Wirkungen der Windmühlen werden in verschiedenen eigens diesem Gegenstande gewidmeten Werken und in einzelnen Abhandlungen untersucht, finden sich aber auch in allen ausführlicheren Werken über den Mühlenbau. Ohne eine Uebersicht der Literatur zu geben oder nur die Leistungen der einzelnen Schriftsteller hervorzuheben, möge bloſs bemerkt werden, daſs die Construction der Windmühlen im Allgemeinen als bekannt vorausgesetzt wird; die Hauptaufgabe bezieht sich daher auf den vortheilhaftesten Bau der Flügel und die Leistungen derselben, die vom Windstoſse abhängen. In dieser Beziehung legen die englischen Schriftsteller die Untersuchungen Smeaton's[1], die französischen Lahire's[2], Coulomb's[3] und de Borda's[4], die deutschen endlich Schober's[5] und Woltmann's[6] zum Grunde, wovon bereits in den Artikeln *Widerstand* und *Wind* gehandelt worden ist. Langsdorf[7] hat nicht bloſs diese, sondern auch andere Quellen mit kritischer Prüfung benutzt, und da ich ein Gleiches zu leisten nicht wohl im Stande bin, so wird es am gerathensten seyn, ihm in der Hauptsache zu folgen.

Bei den mit 4 in verticaler Ebene beweglichen Flügeln versehenen Windmühlen heiſst das hölzerne Gestell, worauf

1 Philos. Trans. 1759. p. 100.

2 Mém. de l'Acad. des Sc. de Paris. T. IX. p. 96.

3 Ebend. 1781. T. LXV. p. 41.

4 Ebend. 1763. p. 358. 1767. p. 495.

5 Hamburger Magazin. Bd. IX. St. 2 u. 3.

6 Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels. Hamburg 1790. 4.

7 Auſser seinen früheren mechanischen und hydraulischen Werken zunächst in: Ausführliches System der Maschinenkunde. Bd. II. Abth. 1. S. 111 ff. Heidelb. 1827. 4.

sie drehbar sind, der *Bock*, die Welle *Flügelwelle*, die durch diese gesteckten Arme heiſsen *Windruthen*, auch nennt man wohl die Welle mit Ruthen und Flügeln *Windrad*. Die Länge der ganzen Windruthe mit zwei Flügeln beträgt bei den gröſseren nicht leicht weniger, als 40 Fuſs, erreicht aber selten 70 Fuſs, und weil die meisten Winde nicht genau horizontal wehn, sondern meistens etwas herabstoſsend wirken, so giebt man den Flügeln eine wenig gegen den Horizont geneigte Lage. Durch die Windruthe werden die 5 bis 7 Fuſs langen sogenannten *Sprossen* gesteckt, und zwar so, daſs sie entweder nach der Seite ihrer Umdrehung hin nur etwa 1 Fuſs vorstehn und daselbst mit den sogenannten *Windbretern* bedeckt sind, oder daſs sie auf beiden Seiten gleich weit vorstehn, meistens aber an der Umdrehungsseite etwas weniger. Zur gröſseren Steifung sind die Sprossen allezeit mit ihren Enden in einen gemeinschaftlichen Rahmen gesteckt und zuweilen an der breiteren Seite der Flügel mit dünnen, den Windruthen parallel laufenden Latten beschlagen. Sind die angegebenen Windbreter vorhanden, so wird nur eine Seite, im entgegengesetzten Falle werden beide Seiten der Windflügel mit grobem Leinen, am besten mit Segeltuch überspannt. Diese Segel werden bei den schlechteren Windmühlen meistens nur zwischen den Sprossen abwechselnd durchgesteckt, zwischen sie geflochten, bei den besseren dagegen sind an den Ruthen in ihrer ganzen Länge eiserne Haken angebracht, in welche die an der einen Seite der Segel festgenäheten Schleusen eingehängt werden. An der anderen Seite der Segel befinden sich Bänder, womit man sie an den Rahmen der Flügel festbindet, wobei die Sprossen als Leitern dienen, um mittelst derselben wie auf Leitern aufzusteigen und das Ausspannen der Segel zu verrichten. Die ersten Sprossen stehn von der Flügelwelle um 3 bis 4 Fuſs ab, um beim Umdrehn nicht an das Dach zu stoſsen.

Bei den gewöhnlichen Bockmühlen hat das untere Gestell, der *Bock*, oben einen Zapfen, auf welchen, um ihn drehbar, das Gehäuse mit der Mühle aufgesetzt ist, bei den holländischen endigt das untere polygonisch gestaltete oder runde Gebäude oben mit einem Kranze, dem *Rollringe*, welcher so ausgehauen ist, daſs ihn eine 4 bis 6 Zoll hohe Wandung umgiebt, die das Ausweichen des *Laufringes* verhindert.

Letzterer ruht auf Walzen, die in Vertiefungen im Rollringe um ihre Axen drehbar sind, zugleich aber in eine Nuth im Laufringe eingreifen, so daſs die obere Fläche des Rollringes und die untere des Laufringes sich in einem nicht groſsen Abstande von einander befinden. Die Breite des Rollringes kann nicht wohl unter 14 Zoll und seine Höhe nicht unter 12 Zoll betragen, weswegen er aus gutem Eichenholze verfertigt seyn muſs, auch verfertigt man aus dieser Ursache den vorstehenden Aufsatzring für sich und befestigt ihn über dem eigentlichen Rollringe mit gehörigen Klammern, auſser den beide verbindenden hölzernen, vertical durchgesteckten Dollen. In die Vertiefung des Laufringes wird ein eiserner Ring eingesenkt, dessen Fläche also über die Walzen hingleitet. Das Aufsetzen des Daches auf den Laufring verdient nicht besonders erwähnt zu werden. Die bereits angegebene Neigung der Flügel gegen den Horizont wird dadurch erreicht, daſs die Wellenaxe an ihrem anderen Ende etwas vertieft, auf 10 Fuſs Länge etwa 16 bis 20 Zoll, liegt. Der Durchmesser des Wellenhalses mag da, wo er aufliegt, nach der Gröſse der Flügel etwa 12 bis 14 Zoll betragen, auch muſs der Kopf der Welle wenigstens 4 Fuſs lang und parallelepipedisch von 14 bis 16 Zoll Seite seyn, weil die durchgesteckten Windruthen in ihrer Mitte 6 bis 8 Zoll dick sind, nach den Enden hin aber verjüngt zulaufen. Langsdorf empfiehlt aber, um diese groſse Dicke zu vermeiden, eine andere, aus der Zeichnung leicht zu erkennende Vorrichtung, wonach bloſs die Zulagen ab, a′b′ durchgesteckt werden, die dann bei einer Länge von 10 Fuſs die Breite der Windruthen, aber nur 4 bis 4,5 Zoll Dicke haben und aus Eichenholz bestehn, während die Windruthen der gröſseren Leichtigkeit und Elasticität wegen aus Nadelholz gemacht werden. Der Wellenhals wird, wo er sich in seinem Lager dreht, mit eisernen Schienen belegt, das Lager selbst verfertigt man aus Basalt, Porphyr oder auch aus Marmor, am besten aus einer harten Steinart. In der Mühle ist auf der Welle ein Kronrad angebracht, dessen Zähne in ein etwas konisches Getriebe am oberen Ende eines verticalen Cylinders, des sogenannten *Königsbaums*, eingreifen, dessen dadurch bewirkte Umdrehung um seine verticale Axe zur Bewegung der beabsichtigten Maschinen benutzt wird. Da bei allen Maschinen Mittel zum Anhalten vorhanden seyn müssen, so ist dieses

Fig. 231.

auch bei den Windmühlen der Fall, und zwar dient hierzu allgemein ein *Bremswerk*, bestehend aus einem Kranze, welcher fest auf den Rand des Kronrades an der Welle drückt und die Bewegung desselben unmöglich macht. Mit geringen Abweichungen ist diese Einrichtung stets die nämliche, auch geht allezeit ein Seil oder eine Stange bis unter die Mühle herab, um durch Anziehung derselben das Bremswerk einzuhängen und die Flügel anzuhalten, wenn man an den Flügeln etwas ordnen will. Das Umdrehen der Mühle, um sie dem Winde nach den Anzeigen der auf dem Dache befindlichen kleinen Windfahne stets entgegenzudrehn, geschieht mittelst der Sterze, eines langen und starken, nach seinem Ende hin etwas verjüngt zulaufenden Balkens, des sogenannten *Sterzbaumes*, an dessen Ende ein kleiner Haspel angebracht ist, um den sich ein Seil windet, welches mit seinem andern Ende mittelst einer Schleife in feste Haken eingehängt wird. Bei den Bockmühlen sind diese hölzernen Haken rund um die Mühle in einem Kreise in die Erde eingeschlagen, bei den holländischen aber befinden sie sich auf der Gallerie, welche um den obern Theil des Gebäudes herumläuft.

Die Fläche der Flügel lag bei den älteren Mühlen in der nämlichen geraden Ebene, und die Flügelruthe war daher für alle durchgesteckte Latten in der nämlichen Richtung durchbohrt. Die Theorie mufste diese Einrichtung als unstatthaft erkennen, denn der Nutzeffect hängt von der Kraft ab, womit der um etwa 45° gegen die Richtung des Windes geneigte Flügel dem Windstofse auszuweichen strebt, die dann wieder durch die Geschwindigkeit bedingt wird, in welche ein gegebener Theil des Flügels durch andere Theile desselben bereits gesetzt worden ist. Da aber die Geschwindigkeit der einzelnen Theile der Flügel mit ihrer Entfernung vom Centrum der Welle zunimmt, so läfst sich eine Geschwindigkeit derselben denken, mit welcher sie dem Winde schneller ausweichen, als dieser sie vermöge seiner Geschwindigkeit bewegen würde, wonach sie also einen negativen oder hindernden Effect geben würden[1]. Inzwischen waren es die niederländischen Mühlenbaumeister, welche diesem Fehler, entweder durch Nachdenken oder durch Erfahrung geleitet, abhalfen und statt der *ebenen*

1 Vergl. Art. *Windmesser*. §. 42.

die gebogenen Flügel einführten. Hiernach werden die zum Durchstecken der Sprossen bestimmten Löcher so gebohrt, dafs die Winkel, die sie mit einer durch die Flügelaxe gelegten verticalen Ebene bilden, von der Welle an zunehmend gröfser werden und die Sprossenlöcher in einer gewundenen Linie liegen, die ungefähr den zwölften Theil eines Schraubenganges bildet, wodurch dann sowohl nach der Theorie, als auch nach der Erfahrung der Nutzeffect um etwa ein Drittel vergröfsert wird.

Weiter in die Beschreibung der Windmühlen und ihrer Theile einzugehn, insbesondere aber die Stärke des Windstofses je nach dem Flächeninhalte der Flügel und ihrer ungleichen Neigung gegen die Umdrehungsebene, so wie endlich auch den gröfsten hieraus zu erzielenden Nutzeffect, als Function der Umlaufsgeschwindigkeit und der Gröfse des Luftdruckes gegen die Flügel, ausführlich zu erörtern scheint mir hier der Ort nicht zu seyn. Da sich diese Untersuchungen auf die praktische Anwendung beziehn würden, wobei Ausführlichkeit und Eingehn auf eine genaue Beschreibung der einzelnen Theile unentbehrlich sind, so mufs man diese aus den gröfseren Werken über praktische Maschinenlehre entnehmen[1].

M.

---

1 Aufser dem angegebenen Werke von v. Langsdorf, wo leider die erforderliche Genauigkeit in der Bezeichnung der Figuren fehlt, verdient vorzüglich empfohlen zu werden: Theorie des Windstofses, welche in der Anwendung auf Windflügel und die von denselben getriebenen Maschinen durch eine völlige Uebereinstimmung mit der Erfahrung begründet wird. Von A. L. Crelle. Berl. 1802. 4.

Windrose.

Rosa nautarum; Rose des Vents, Cadran des Vents; *Compaſs, See-Compaſs, rose of a Compaſs.*

Ueber die Windrose ist bereits in den Artikeln *Weltgegend* und *Wind* das Erforderliche gesagt worden. Dort wurde auch in einer Anmerkung angegeben, daſs namentlich bei den lateinischen Schriftstellern eine Menge Bezeichnungen der verschiedenen Winde vorkommen, die aber so wenig genau sind, daſs es nicht allezeit möglich ist, sie scharf von einander zu unterscheiden. Wenn es nöthig ist, sie mit lateinischen Namen zu bezeichnen, so dürften noch diejenigen am passendsten seyn, die ihnen Leutmann[1] gegeben hat. Hiernach heiſsen die 32 Winde, von Nord anfangend durch Süd bis wieder zurück, nebst ihren Bezeichnungen und den ihnen zugehörigen Winkeln, wie folgt: 1) N. 0° 0′ Boreas; 2) NO. 11° 15′ Hyperboreas, Hypaquilo; 3) NNO. 22° 30′ Aquilo; 4) NON. 33° 45′ Mesoboreas, Mesaquilo; 5) NO. 45° Arctapeliotes, Borapediotes; 6) NOO. 56° 15′ Hypocaecias; 7) ONO. 67° 30′ Caecias; 8) ON. 78° 45′ Mesocaecias; 9) O. 90° Subsolanus, Apeliotes, Solanus; 10) OS. 101° 15′ Hypeurus; 11) OSO. 112° 30′ Eurus, Vulturnus; 12) SOO. 123° 45′ Meseurus; 13) SO. 135° Notapoliotes, Euroauster; 14) SOS. 146° 15′ Hypophoenix; 15) SSO. 157° 30′ Phoenix, Leuconotus; 16) SO. 168° 45′ Mesophoenix; 17) S. 180° Auster, Notus; 18) SW. 191° 15′ Hypolibonotus; 19) SSW. 202° 30′ Libonotus, Austroafricus; 20) SWS. 213° 45′ Mesolibonotus; 21) SW. 225° Notozephyrus, Notolybicus, Africus; 22) SWW. 236° 15′ Hypolibs, Vesperus; 23) WSW. 247° 30′ Libs; 24) WS. 258° 45′ Mesolibs, Mesozephyrus; 25) W. 270° Favonius, Zephyrus; 26) WN. 281° 15′ Hypargestes, Hypocorus; 27) WNW. 292° 30′ Argestes, Caurus, Corus,

---

1 Instrumenta Meteorognosiae cet. Wittemb. 1725. 8. p. 124. Die Bezeichnungen nach den Weltgegenden stimmen mit den neuerdings üblichen und richtigern nicht durchaus überein.

Japix; 28) NWW. 303° 45′ Mesargestes, Mesocorus; 29) NW. 315° Zephyroboreas, Borolybicus, Olympias; 30) NWN. 326° 15′ Hypocircius; 31) NNW. 337° 30′ Circius, Thrascias; 32) NW. 348° 45′ Mesocircius. Die absolute Genauigkeit und Schärfe dieser Bezeichnungen läſst sich auf keine Weise verbürgen [1].

M.

Winkelhebel.

Gebrochener Hebel; *Vectis angularis;* Levier brisé; *Crooked Lever.*

So wird ein Hebel [2] genannt, dessen beide Arme nicht in einer geraden Linie liegen, sondern einen gegebenen Winkel unter sich bilden.

Archimedes suchte das Princip der Theorie des Hebels in Verbindung mit der Lehre von dem Schwerpuncte zu beweisen, oder vielmehr er setzte dieses Princip als ein Axiom, ohne eigentlichen strengen Beweis, voraus. So kam es, daſs mehrere neuere Schriftsteller, La Hire, Bernoulli, Kästner, Karsten u. A., vor allem einen strengern Beweis dieses Princips gesucht haben, um dann auf ihm die wichtige Lehre von der Zerlegung der Kräfte und auf beiden die gesammte Statik und Mechanik zu erbauen. Newton schlug einen andern Weg ein, indem er, als Grundlage dieser beiden Wissenschaften, die Lehre von der Zerlegung der Kräfte als ein Axiom annahm und daraus sofort das Princip des Hebels und somit die ganze Wissenschaft abzuleiten suchte. Die neuesten Schriftsteller, besonders in Frankreich, haben diesen letzten Weg beibehalten, mit dem Unterschiede jedoch, daſs sie die Lehre von der Zerlegung der Kräfte auch noch streng zu beweisen suchten [3], und daſs sie endlich überhaupt der Wissenschaft eine durchaus analytische

---

1 Vergl. Lüdicke über die Bezeichnung der Winde bei den Alten. In Hindenburg's Archiv. Th. III. S. 38.

2 S. Art. *Hebel.* Bd. V. S. 105.

3 Man s. Laplace Méc. céleste Vol. I. Poisson Traité de Mécanique. IIte Aufl. Vol. I.

Gestalt zu geben bemüht waren, statt der synthetischen, in welche sie Newton zu kleiden gesucht hatte. Was nun jenen Beweis der Neueren von dem Princip der Zerlegung der Kräfte betrifft, so soll er Vielen nicht elementar genug erscheinen, da er die Infinitesimalrechnung zu Hülfe ruft, während ihn wieder Andere, von der strengen Observanz, nicht als scharf und in allen Puncten beruhigend genug zu betrachten pflegen. Die ohne Differentialrechnung bisher aufgestellten Beweise sind, selbst wenn sie in Beziehung auf ihre Strenge allen Forderungen genügen sollten, doch zu umständlich, um in einem eigentlichen Lehrgebäude der Wissenschaft vorangestellt zu werden.

Sehn wir also zuerst zu, wie Newton diesen Gegenstand behandelt, und lassen wir ihn mit seinen eigenen Worten reden. In der Einleitung zu dem ersten Buche seiner *Principia* heifst es, wie folgt:

Lex II. *Si vis aliqua motum quemvis generat, dupla duplum, tripla triplum* etc. *generabit, sive simul et semel, sive gradatim et successive impressa fuerit. Et hic motus, si corpus antea movebatur, motui ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel obliquo oblique adjicitur et cum eo secundum utriusque determinationem componitur.*

Corollarium. *Si corpus, dato tempore, vi sola* P *in loco* M *impressa, ferretur uniformi cum motu ab* M *ad* G, *et vi sola* Q, *in eodem loco impressa, ferretur ab* M *ad* H: *compleatur parallelogrammum* MGHK, *et vi utraque ferretur eodem tempore corpus in diagonali ab* M *ad* K. *Nam quoniam vis* Q *agit secundum lineam* MH *ipsi* GK *parallelam, haec vis* (*secundum Legem* II) *non mutabit velocitatem accedendi ad lineam illam* GK *a vi altera genitam. Accedet igitur corpus eodem tempore ad lineam* GK, *sive vis* Q *imprimatur, sive non; atque adeo in fine illius temporis reperietur alicubi in linea illa* GK. *Eodem argumento in fine ejusdem temporis reperietur alicubi in linea* HK, *et idcirco in utriusque lineae concursu* K. Fig. 232.

Mich dünkt, dieses sey viel einfacher, deutlicher und überzeugender zugleich, als irgend einer der vielen weitläuftigen und gelehrten sogenannten Beweise, die man bisher von diesem Satze gegeben hat, und von welchen allen nahe dasselbe gilt, was Lichtenberg irgendwo von der Philosophie sagt, dafs sie

nämlich die Kunst sey, uns dasjenige gelehrt und verwickelt zu sagen, was Jeder ohnehin schon gewufst hat. Daraus folgt aber unmittelbar das bekannte Theorem von der Zusammensetzung oder von der Zerlegung der Kräfte. Wird nämlich von zwei, auf einen Körper M zugleich wirkenden Kräften die eine P durch die Linie MG und die zweite Q durch die Linie MH ihrer Gröfse und Richtung nach vorgestellt, und verzeichnet man das Parallelogramm, dessen Seiten diese zwei Kräfte vorstellen, so kann man diesen zwei *Seitenkräften* P und Q eine einzige *mittlere Kraft* R substituiren, welche letztere durch die Diagonale MK dieses Parallelogramms ihrer Gröfse und Richtung nach vorgestellt wird.

Dadurch ist also jedes Problem über die Zusammensetzung oder Zerlegung der Kräfte auf die einfache Auflösung eines ebenen Dreiecks MGK zurückgeführt. In diesem Dreiecke sind nämlich die Seiten $MG = P$ und $GK = MH = Q$ die Seitenkräfte, so wie $MK = R$ die mittlere Kraft (oder die sogenannte Resultante); die beiden Winkel $GMK = x$ und $GKM = y$ aber sind die Winkel, welche die Resultante mit den beiden Seitenkräften bildet. Bezeichnet man endlich durch m den Winkel $GMH = x + y$ zwischen den beiden Seitenkräften, so ist auch der dritte Winkel MGK unseres Dreiecks $= 180° - m$.

Dieses vorausgesetzt hat man also die Gleichungen

$$R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \text{ Cos.} m,$$

$$R : Q = \text{Sin.} m : \text{Sin.} x \quad \text{oder} \quad \text{Sin.} x = \frac{Q}{R} \text{Sin.} m,$$

$$R : P = \text{Sin.} m : \text{Sin.} y \quad \text{oder} \quad \text{Sin.} y = \frac{P}{R} \text{Sin.} m,$$

und wenn daher von den sechs dieses Dreieck bestimmenden Gröfsen P, Q, R, x, y und $180° - m$ drei gegeben sind, so wird man daraus, mittelst der vorhergehenden Gleichungen, die drei anderen finden. Die beiden letzten dieser Gleichungen, sagen: Die Resultante R verhält sich zu jeder der Seitenkräfte, z. B. zu Q, wie sich der Sinus des Winkels zwischen den Seitenkräften verhält zu dem Sinus des Winkels der Resultante mit der anderen Seitenkraft P. Auch folgt aus denselben zwei Gleichungen:

$$R : Q : P = \text{Sin.} m : \text{Sin.} x : \text{Sin.} y,$$

das heifst, von diesen drei Kräften kann jede durch den Sinus desjenigen Winkels dargestellt werden, welchen die Richtungen der beiden anderen Kräfte unter sich bilden.

Da also die Resultante $MK = R$ den beiden Seitenkräften $MG = P$ und $MH = Q$ zusammengenommen in ihrer Wirkung ganz gleich ist, so kann auch jene statt dieser beiden oder so können auch diese beiden statt jener substituirt werden. Nimmt man daher statt der Resultante $MK = R$ in der Ver- Fig. 233.
längerung ihrer Richtung KMC eine andere $MC = R$ auf der entgegengesetzten Seite des Anfangspunctes M, so wird die Kraft MC die ihr gleiche entgegengesetzte MK aufheben, also wird auch dieselbe Kraft $MC = R$ die beiden Seitenkräfte $MG = P$ und $MH = Q$ aufheben, oder die Kraft R nach der Richtung MC wird mit den beiden Kräften P nach MG, und Q nach MH *im Gleichgewichte seyn.* Ebenso wird auch P mit den beiden Kräften Q und R, so wie auch Q mit den beiden Kräften P und R, kurz *alle drei* (durch jenes Parallelogramm bestimmten) *Kräfte werden unter sich im Gleichgewichte stehn.* Diese Kraft $R = MC$, welche der Resultante MK gleich und in ihrer Richtung entgegengesetzt ist, wird die *Aequipollente* der Resultante MK genannt.

Wenn man von dem anderen Endpuncte K der Resultante MK die Lothe $Kp = p$ und $Kq = q$ auf die Richtungen MA und MB der beiden Seitenkräfte P und Q herabläfst, so ist

$$p = R \operatorname{Sin.} x \text{ und } q = R \operatorname{Sin.} y.$$

Nach der letzten vorhergehenden Gleichung hat man aber für das Verhältnifs der Seitenkräfte

$$\frac{P}{Q} = \frac{\operatorname{Sin.} y}{\operatorname{Sin.} x},$$

also ist auch, wenn man die so eben gefundenen Werthe von Sin. x und Sin. y substituirt,

$$\frac{P}{Q} = \frac{q}{p},$$

so dafs sich also bei jedem Winkelhebel GMH oder GKH für das Gleichgewicht *die Seitenkräfte verhalten, wie verkehrt die Lothe, welche man aus irgend einem Puncte der Richtung der Resultante auf die Richtungen dieser Seitenkräfte gezogen hat, und umgekehrt*, und dieses ist der Satz,

den man gewöhnlich unter der Benennung des *Theorems des gebrochenen Hebels* versteht.

In den meisten Fällen reicht es bei den Problemen der Statik und Mechanik hin, die beiden Seitenkräfte unter gegen einander senkrechten Richtungen anzunehmen oder den Winkel GMH = m = 90° zu setzen. Dadurch werden die vorhergehenden Ausdrücke viel einfacher. Setzt man nämlich die Seitenkraft MG = X und MH = Y, so wie den Winkel KMG der Resultante R mit P gleich a, so wird man in den vorhergehenden Ausdrücken

P und Q in X und Y,
x in a,

und

y in 90° — a

verwandeln, wodurch man erhält

$$\left.\begin{array}{l} X = R\,\mathrm{Cos.}\,a \\ Y = R\,\mathrm{Sin.}\,a \\ R^2 = X^2 + Y^2 \end{array}\right\},$$

durch welche Gleichungen man je zwei von den vier Gröſsen X, Y, R und a finden wird, wenn die zwei andern gegeben sind.

Wie man aber, nach dem Vorhergehenden, jede Kraft R in zwei andere unter einander senkrechte Kräfte X und Y zerlegen kann, welche letztere durch die Seitenlinien eines Rechtecks vorgestellt werden, dessen Diagonale jene mittlere Kraft R ist, so wird man auch jede solche Kraft R in drei andere unter sich senkrechte Kräfte X, Y und Z zerlegen können, welche letztere durch die Kanten eines rechtwinkligen Parallelepipedums vorgestellt werden, dessen Diagonale wieder jene mittlere Kraft R ist. Man denke sich nämlich dieses Parallelepipedum über den drei Axen der unter sich senkrechten Coordinaten x, y und z construirt, und schneide dasselbe durch eine Ebene, die durch die Diagonale und durch die Axe der z geht, also senkrecht auf der coordinirten Ebene der xy steht. Dieser Schnitt wird die Gestalt eines Parallelogramms haben, dessen eine Seite Z in der Axe der z liegt, während die andere die Diagonale des das Parallelepipedum in der Ebene der xy be-

grenzenden Parallelogramms ist. Diese Diagonale läſst sich aber, nach dem Vorhergehenden, wieder in die zwei Seitenkräfte X und Y auflösen, die durch die beiden Seiten des erwähnten Parallelogramms dargestellt werden und von denen X in der Axe der x und Y in der Coordinatenaxe der y liegt, so daſs demnach die so bestimmten Linien X, Y und Z die drei unter sich senkrechten Seitenkräfte der mittleren Kraft R vorstellen. Nennt man also a den Winkel der Kraft R mit der von X, b mit der von Y und c mit der von Z, so hat man die Gleichungen

$$X = R \text{ Cos. } a,$$
$$Y = R \text{ Cos } b,$$
$$Z = R \text{ Cos. } c$$

und

$$R^2 = X^2 + Y^2 + Z^2,$$

wobei noch bemerkt werden muſs, daſs die drei Winkel a, b, c nicht ganz von einander unabhängig sind, sondern daſs zwischen ihnen die Gleichung besteht: $\text{Cos.}^2 a + \text{Cos.}^2 b + \text{Cos.}^2 c = 1$.

Winkelhebel

in der allgemeinsten Bedeutung des Worts.

Das Vorhergehende enthält die Theorie des gebrochenen Hebels oder des *Winkelhebels*, dieses Wort in der oben gegebenen einfachsten Bedeutung desselben genommen, desjenigen Hebels nämlich, der aus zwei unter einem gegebenen Winkel verbundenen geraden Linien besteht, an dessen äuſsersten Endpuncten zwei gegebene Kräfte nach bestimmten Richtungen wirken, vorausgesetzt, daſs die Richtungen dieser Kräfte in der Ebene jener beiden den Winkelhebel constituirenden geraden Linien liegen. Allein der Begriff eines gebrochenen Hebels läſst sich noch viel allgemeiner auffassen, und in dieser seiner allgemeinsten Gestalt bildet die Theorie desselben eines der wichtigsten Probleme der Statik, ja man kann selbst sagen, daſs dieses Problem das ganze Gebiet der Statik in ihren vorzüglichsten Theilen umfaſst. Es wird daher nicht unangemessen erscheinen, dasselbe hier etwas näher zu betrachten.

Das in Rede stehende Problem läſst sich auf folgende

Weise ausdrücken: *Von einer unbestimmten Anzahl von Körpern, die unter sich immer dieselben Entfernungen behalten, werde jeder durch mehrere Kräfte getrieben, deren Gröſse und Richtung gegeben ist; man suche die Bedingungen des Gleichgewichts dieses Systems von Körpern.*

Man kann sich diese Körper, die wir hier nur als körperliche Puncte, ohne Rücksicht auf ihre Gestalt, betrachten, z. B. in den verschiedenen Winkeln eines mannigfaltig verflochtenen Drahtgitters angebracht vorstellen, in welchem jedes zwei nächste Körper verbindende Drahtstück unbiegsam und unausdehnbar, also in seiner Länge unveränderlich angenommen wird.

Beziehn wir nun die Lage dieser körperlichen Puncte, so wie die Richtungen der auf sie wirkenden Kräfte auf drei im Raume fixe, und unter sich rechtwinkelige Coordinatenaxen, die wir die Axen der x, der y und der z nennen wollen. Bezeichnen wir durch diese Gröſsen x, y und z die diesen Axen parallelen Coordinaten des ersten jener körperlichen Puncte. Auf diesen ersten Punct M wirke die Kraft P in einer Richtung, die mit den drei Axen der x, y, z respective die Winkel α, β, γ bilde. Ebenso seyen für den zweiten körperlichen Punct M′ die seine Lage im Raume bestimmenden Coordinaten x', y', z' und die auf ihn wirkende Kraft P', deren Richtung mit den Axen der x, y, z die Winkel α', β', γ' bilde. Für einen dritten Körper M″ seyen die analogen Gröſsen x'', y'', z'', P'' und α'', β'', γ'', und so fort für die übrigen, deren willkürliche Anzahl gleich N seyn mag.

Ehe wir aber die Bedingungen des Gleichgewichts dieses Systems von körperlichen Puncten suchen, wollen wir bemerken, daſs man jede einzelne dieser Kräfte P, P′, P″ . . . in drei andere auflösen kann, die respective den Axen der x, y, z parallel seyn werden. Auf diese Weise wird nämlich die Kraft P in drei andere

$P \operatorname{Cos.} \alpha$ nach der Richtung der x,
$P \operatorname{Cos.} \beta$ — — — — y,
$P \operatorname{Cos.} \gamma$ — — — — z,

und ebenso wird die Kraft P in drei andere $P' \operatorname{Cos.} \alpha'$, $P' \operatorname{Cos.} \beta'$, $P' \operatorname{Cos.} \gamma'$ nach denselben drei Richtungen zerfallen, und so fort

für die übrigen. Nimmt man daher die Gröfsen X, Y, Z so an, dafs man hat

$$\Sigma . X = P \operatorname{Cos}. \alpha + P' \operatorname{Cos}. \alpha' + P'' \operatorname{Cos}. \alpha'' + \ldots = \Sigma . P \operatorname{Cos}. \alpha,$$
$$\Sigma . Y = P \operatorname{Cos}. \beta + P' \operatorname{Cos}. \beta' + P'' \operatorname{Cos}. \beta'' + \ldots = \Sigma . P \operatorname{Cos}. \beta,$$
$$\Sigma . Z = P \operatorname{Cos}. \gamma + P' \operatorname{Cos}. \gamma' + P'' \operatorname{Cos}. \gamma'' + \ldots = \Sigma . P \operatorname{Cos}. \gamma,$$

so kann man sagen, dafs die einzelnen Puncte dieses Systems nur von drei Arten von Kräften afficirt werden, nämlich von den drei Kräften

$$\Sigma X = X + X' + X'' + \ldots; \quad \Sigma Y = Y + Y' + Y'' + \ldots; \quad \Sigma Z = Z + Z' + Z'' + \ldots,$$

deren Richtungen respective mit den Axen der x, y und z parallel sind.

Wenn nun das System in Folge der auf dasselbe einwirkenden Kräfte P, P′, P″... im Gleichgewichte, in Ruhe verbleiben soll, so darf es durch jene Kräfte weder eine progressive Bewegung im Raume, noch auch eine rotatorische Bewegung um einen seiner Puncte erhalten. Die Erfüllung dieser zwei Bedingungen wird aber durch die Gleichungen ausgedrückt, die wir bereits oben[1] aufgestellt haben. Man hat nämlich, da die a. a. O. eingeführte Bezeichnung mit der gegenwärtigen übereinstimmt, für das Gleichgewicht der progressiven Bewegung

$$\left.\begin{aligned} H &= \Sigma . P \operatorname{Cos}. \alpha = 0 \\ I &= \Sigma . P \operatorname{Cos}. \beta = 0 \\ K &= \Sigma . P \operatorname{Cos}. \gamma = 0 \end{aligned}\right\} \ldots \quad (I)$$

und für das Gleichgewicht der rotatorischen Bewegung

$$\left.\begin{aligned} L &= \Sigma . P (x \operatorname{Cos}. \beta - y \operatorname{Cos}. \alpha) = 0 \\ M &= \Sigma . P (z \operatorname{Cos}. \alpha - x \operatorname{Cos}. \gamma) = 0 \\ N &= \Sigma . P (y \operatorname{Cos}. \gamma - z \operatorname{Cos}. \beta) = 0 \end{aligned}\right\} \ldots \quad (II)$$

Mittels der oben aufgestellten Werthe von X, Y und Z lassen sich diese sechs Gleichungen noch einfacher darstellen. Es sind nämlich auch die drei ersten Gleichungen (I)

$$\left.\begin{aligned} H &= \Sigma . X = 0 \\ I &= \Sigma . Y = 0 \\ K &= \Sigma . Z = 0 \end{aligned}\right\}$$

1 S. Art. *Mechanik*. Bd. VI. S. 1534.

und ebenso die drei letzten (II)

$$\left.\begin{array}{l} L = \Sigma.(Yx - Xy) = 0 \\ M = \Sigma.(Xz - Zx) = 0 \\ N = \Sigma.(Zy - Yz) = 0 \end{array}\right\},$$

wo die Zeichen H, I, K und L, M, N, der Kürze wegen, gleichsam als die *Benennungen* dieser sechs Gleichungen eingeführt sind.

A. Allgemeine Bemerkungen über diese Gleichungen.

1) Wenn die sämmtlichen körperlichen Puncte des Systems, so wie die Richtungen aller Kräfte, ohne parallel zu seyn, in einer und derselben Ebene liegen, so kann man dafür eine der drei coordinirten Ebenen, z. B. die der xz annehmen. Dann sind aber in den vorhergehenden Gleichungen alle y gleich Null und alle β gleich 90°, so wie $\gamma = 90° - \alpha$, $\gamma' = 90° - \alpha'$ u. s. f., so dafs daher jene sechs Gleichungen in die folgenden drei übergehn:

$$\left.\begin{array}{l} H = \Sigma.P\,\text{Cos.}\,\alpha = 0 \\ K = \Sigma.P\,\text{Sin.}\,\alpha = 0 \\ M = \Sigma.P(z\,\text{Cos.}\,\alpha - x\,\text{Sin.}\,\alpha) = 0 \end{array}\right\}.$$

2) Wenn die Richtungen aller Kräfte P, P', P''... in einen und denselben Punct zusammenlaufen, so sind, wenn man diesen Punct als Anfangspunct der Coordinaten betrachtet, die Gröfsen x, y, z ... den Cosinus der Winkel α, β, γ... proportional, und man hat

$$\frac{x}{y} = \frac{\text{Cos.}\,\alpha}{\text{Cos.}\,\beta};\ \frac{x}{z} = \frac{\text{Cos.}\,\alpha}{\text{Cos.}\,\gamma}\ \text{u. s. w.},$$

das heifst, es ist

$$x\,\text{Cos.}\,\beta - y\,\text{Cos.}\,\alpha = 0;\ z\,\text{Cos.}\,\alpha - x\,\text{Cos.}\,\gamma = 0\ \text{u. s. w.},$$

so dafs daher die drei letzten Gleichungen L, M, N ganz wegfallen. Man hat daher für das Gleichgewicht eines einzigen Punctes, der unter der Wirkung einer willkürlichen Anzahl von Kräften P, P', P'' ... steht, blofs die drei Gleichungen H, I und K, oder

$$\Sigma.P\,\text{Cos.}\,\alpha = 0;\ \Sigma.P\,\text{Cos.}\,\beta = 0;\ \Sigma.P\,\text{Cos.}\,\gamma = 0.$$

3) Sind die Richtungen aller Kräfte unter sich parallel, aber in verschiedenen Ebenen, so kann man für die gemeinschaftliche Richtung aller Kräfte eine der drei Coordinatenaxen, z. B. die Axe der z nehmen. Dann ist aber $\gamma = 0$ und $x = \beta = 90°$. Für diesen Fall gehn also die drei Gleichungen (I) in die folgende einzelne über:

$$K = 0 \text{ oder } \Sigma . P = 0 \text{ oder } P + P' + P'' + \ldots = 0,$$

während die drei Gleichungen (II) nur die folgenden zwei geben:

$$M = 0 \text{ oder } \Sigma . Px = 0 \text{ oder } Px + P'x' + P''x'' + \ldots = 0,$$
$$N = 0 \text{ oder } \Sigma . Py = 0 \text{ oder } Py + P'y' + P''y'' + \ldots = 0.$$

4) Liegen endlich die sämmtlichen mit der Axe der z parallelen Kräfte in einer und derselben Ebene, wofür man die Ebene der xz wählen kann, so ist $\gamma = 0$ und $\alpha = \beta = 90°$ und überdiefs $y = 0$, so dafs daher jene sechs Gleichungen (I) und (II) schon durch die folgenden zwei ersetzt werden:

$$\left.\begin{array}{l} \Sigma . P = 0 \\ \Sigma . Px = 0 \end{array}\right\}.$$

B. Herstellung des gestörten Gleichgewichts.

Wenn aber die Kräfte P, P′, P″ ... nicht im Stande sind, das System der körperlichen Puncte im Gleichgewichte zu erhalten, so wird man doch die *Resultante* aller dieser Kräfte suchen können, wenn nämlich eine solche bei den gegebenen Kräften überhaupt möglich ist. Kennt man dann die Gröfse und die Richtung dieser Resultante, so wird *sie selbst* es seyn, die, in verkehrter Richtung an das System angebracht, dasselbe in Verbindung mit den andern gegebenen Kräften P, P′, P″ ... im Gleichgewichte halten, die also das gesuchte Gleichgewicht des Systems herstellen kann. Nennt man R die Gröfse dieser Resultante, dieselbe als eine positive Gröfse betrachtet[1], sind

1 Auch die andern Kräfte P, P′, P″ ... werden hier durchaus als *positive* Gröfsen betrachtet, da die Fälle, wo sie als negative Gröfsen wirken, schon durch die Factoren Cos. α, Cos. β, Cos. γ berücksichtigt werden. Blofs bei parallelen Richtungen der Kräfte unterscheidet man die auf- und abwärts wirkenden Kräfte durch + und —.

ferner A, B, C die Winkel, welche ihre Richtung mit den Axen der x, y, z bildet, und bezeichnet man endlich durch X, Y, Z die analogen Coordinaten des Angriffspuncts dieser Kraft R (welcher Angriffspunct irgendwo in der Richtung der Kraft R selbst liegen mufs), so wird das Gleichgewicht des Systems hergestellt seyn, wenn die sechs Gleichungen (I) und (II) bestehn, vorausgesetzt, dafs man den Kräften P, P′, P″... noch die Kraft R in entgegengesetzter Richtung hinzufügt, so dafs z. B. die erste jener Gleichungen (H) in folgende übergeht:

$$-\text{R Cos. A} + \text{P Cos.}\,\alpha + \text{P}' \text{Cos.}\,\alpha' + \text{P}'' \text{Cos.}\,\alpha'' + \ldots = 0,$$

oder kürzer ausgedrückt

und ebenso . . .
$$\left.\begin{array}{l} \text{H} = \text{R Cos. A} \\ \text{I} = \text{R Cos. B} \\ \text{K} = \text{R Cos. C} \end{array}\right\} \ldots \text{(III)}$$

Ganz auf dieselbe Weise wird man auch für die drei andern Gleichungen (II) erhalten

$$\left.\begin{array}{l} \text{L} = \text{R (X Cos. B} - \text{Y Cos. A)} \\ \text{M} = \text{R (Z Cos. A} - \text{X Cos. C)} \\ \text{N} = \text{R (Y Cos. C} - \text{Z Cos. B)} \end{array}\right\} \ldots \text{(IV)}$$

und statt der drei letzten wird man auch, wenn die Gleichungen (I′) dabei berücksichtigt werden, die drei folgenden substituiren können:

$$\left.\begin{array}{l} \text{HY} - \text{IX} + \text{L} = 0 \\ \text{KX} - \text{HZ} + \text{M} - 0 \\ \text{IZ} - \text{KY} + \text{N} = 0 \end{array}\right\} \ldots \text{(V)}$$

so dafs also diese sechs Gleichungen (III) und (V) bestehn müssen, wenn zwischen den Kräften P, P′, P″... und R Gleichgewicht bestehn soll. Da die Coordinaten X, Y, Z irgend einem Puncte der Geraden angehören können, nach welchem die Resultante R wirkt, so sind die Gleichungen (V) die der Projection dieser Geraden in den drei coordinirten Ebenen. Wenn daher diese Gerade in der That existiren soll, so müssen sich diese drei Gleichungen auf zwei zurückbringen lassen, oder es mufs zwischen den constanten Gröfsen dieser drei Gleichungen irgend eine Bedingungsgleichung bestehn. Multiplicirt

man aber die erste durch K, die zweite durch I und die dritte durch H, so giebt die Summe dieser Producte

$$KL + IM + HN = 0 \ldots \quad (VI)$$

und dieses ist daher die Bedingungsgleichung, die statt haben muſs, wenn die auf das System wirkenden Kräfte, ohne eben Gleichgewicht hervorzubringen, doch wenigstens eine einzige Resultante haben sollen. Hat diese Gleichung (VI) statt, so wird man die Gröſse dieser Resultante R durch den Ausdruck

$$R = \sqrt{H^2 + I^2 + K^2} \ldots \quad (VII)$$

und die Richtung derselben durch die drei obigen Gleichungen (I′), das heiſst durch

$$\left.\begin{aligned} \text{Cos.}\,A &= \frac{\Sigma.\,P\,\text{Cos.}\,\alpha}{R} \\ \text{Cos.}\,B &= \frac{\Sigma.\,P\,\text{Cos.}\,\beta}{R} \\ \text{Cos.}\,C &= \frac{\Sigma.\,P\,\text{Cos.}\,\gamma}{R} \end{aligned}\right\} \ldots \quad (VIII)$$

erhalten. Findet die Bedingungsgleichung (III) statt, so werden die Gröſsen X, Y, Z unter der unbestimmten Form $\frac{0}{0}$ erscheinen, zum Zeichen, daſs diese Resultante, wie überhaupt jede Kraft, in jedem willkürlichen Puncte ihrer Richtung angebracht werden kann.

Setzt man, unter der Voraussetzung, daſs die Gleichung (VI) besteht, in den Gleichungen (V) die Gröſse $X = 0$, so findet man die Coordinaten Y und Z des Punctes, in welchem die verlängerte Richtung der Resultante die coordinirte Ebene der yz schneidet. Diese Coordinaten sind

$$Y = -\frac{L}{H} \text{ und } Z = +\frac{M}{H}.$$

Ebenso findet man für die Coordinaten des Punctes, in welchem die Resultante die Ebene der xz schneidet,

$$X = +\frac{L}{I} \text{ und } Z = -\frac{N}{I}$$

und endlich für den Durchschnittspunct derselben mit der Ebene der xy

$$X = -\frac{M}{K} \text{ und } Y = +\frac{N}{K}.$$

Sind die drei Gröſsen H, I und K schon jede für sich gleich Null, so besteht wohl die Gleichung (VI) auch jetzt noch, aber dann sind, wie die so eben angeführten Werthe von X, Y und Z zeigen, die Durchschnittspuncte der Richtung dieser Resultante mit den drei coordinirten Ebenen alle unendlich weit von dem Anfangspuncte der Coordinaten entfernt, so daſs also die Annahme einer einzigen Resultante für diesen Fall unstatthaft wird. Sind aber die andern drei Gröſsen L, M und N jede für sich gleich Null, so wird auch dadurch der Gleichung (VI) genug gethan, oder die auf das System wirkenden Kräfte haben eine einzige Resultante, die, wie die Gleichungen (V) zeigen, zugleich durch den Anfangspunct der Coordinaten geht, weil die constanten Gröſsen dieser Gleichungen verschwinden.

C. Gleichgewicht des in einem Puncte festen Systems.

Das Vorhergehende bezieht sich bloſs auf die ganz *freien* Systeme körperlicher Puncte, d. h. auf solche, die durch keine äuſseren Nebenbedingungen beschränkt sind. Nehmen wir nun an, daſs das System in irgend einem seiner Puncte *fest* ist, und es sey zugleich dieser Punct der Anfangspunct der Coordinaten. Diese Voraussetzung hebt also jede progressive Bewegung des Systems sofort auf, so daſs also die drei Gleichungen (I), als überflüssig, ganz wegfallen, und nur noch die drei Gleichungen (II) bestehn, nämlich

$$L = 0, \quad M = 0 \text{ und } N = 0.$$

In der That kann ein in einem Puncte festes System nur noch eine um diesen Punct sich *drehende* Bewegung annehmen, und diese ist es, welche durch die drei letzten Gleichungen aufgehoben wird. Auch zeigen diese drei Gleichungen (nach dem, was in (B) gesagt worden ist), daſs in diesem Falle die auf das System wirkenden Kräfte P, P′, P″... immer eine einzige Resultante haben, deren Richtung durch den Anfangspunct, d. h. durch jenen festen Punct des Systems geht. Aber dieser feste Punct wird durch die Wirkungen jener Kräfte einenge wissen Druck R erfahren, dessen Gröſse

$$R = \sqrt{H^2 + I^2 + K^2}$$

und dessen Richtung wieder durch die drei Gleichungen (VIII) bestimmt werden wird. Ist dieser Druck R gleich Null, so ist der erste Punct unnöthig, obschon nicht hinderlich, für das dann stattfindende *freie* System.

1) Wenn für einen speciellen Fall alle Puncte des Systems, so wie alle Richtungen der Kräfte P, P′, P″... in einer Ebene, z. B. in der Ebene der xz liegen, so hat man, da $\gamma = 90° - \alpha$ ist, bloſs die Gleichung $M = 0$ oder

$$\Sigma . P (z \,\mathrm{Cos.}\, \alpha - x \,\mathrm{Sin.}\, \alpha) = 0,$$

und der Druck R dieser Kräfte auf den festen Punct ist

$$R = \sqrt{(\Sigma . P \,\mathrm{Cos.}\, \alpha)^2 + (\Sigma . P \,\mathrm{Sin.}\, \alpha)^2},$$

und wenn A der Winkel der Richtung dieses Druckes mit der Axe der x ist, so hat man

$$\mathrm{Sin.}\, A = \frac{\Sigma . P \,\mathrm{Sin.}\, \alpha}{R} \text{ und } \mathrm{Cos.}\, A = \frac{\Sigma . P \,\mathrm{Cos.}\, \alpha}{R}.$$

Liegen überdieſs alle körperliche Puncte des Systems in einer geraden Linie, für welche wir die Axe der x annehmen, so hat man $z = 0$, und daher für das Gleichgewicht des Systems die einzige Bedingungsgleichung

$$\Sigma . P x \,\mathrm{Sin.}\, \alpha = 0$$

und für den Druck in der Richtung der Axe der x den Ausdruck

$$R = \Sigma . P \,\mathrm{Cos.}\, \alpha.$$

2) Sind endlich die Richtungen der Kräfte alle der Axe der z parallel, übrigens diese Richtungen sowohl, als auch die körperlichen Puncte des Systems selbst in verschiedenen Ebenen oder überhaupt im Raume willkürlich vertheilt, so hat man, da $\gamma = 0$ und $\beta = \alpha = 90°$ ist, für das Gleichgewicht des Systems nur die zwei Bedingungsgleichungen

$$\Sigma . P x = 0 \text{ und } \Sigma . P y = 0,$$

und für den Druck

$$R = \Sigma . P = P + P' + P'' + \ldots$$

Liegen endlich diese der Axe der z parallelen Kräfte, so wie auch die körperlichen Puncte des Systems, alle in der Ebene der xz, so hat man bloſs die einzige Gleichung

$$\Sigma . P x = 0,$$

und für den Druck

$$R = \Sigma . P,$$

wie zuvor.

D. Gleichgewicht des in zwei Puncten festen Systems.

Wenn in dem gegebenen Systeme zwei Puncte fest sind, so wird dadurch erstens, wie in (C), alle progressive Bewegung des Systems aufgehoben, aber auch von den rotirenden Bewegungen kann jetzt nur noch diejenige bestehn, welche diejenige Gerade, die durch jene zwei Puncte geht, zu ihrer Rotationsaxe hat. Nimmt man also diese Rotationsaxe für die Axe der z, so werden in den Gleichungen (I) die Gröſsen H, I, K von selbst verschwinden, da das System, wie gesagt, keine progressive Bewegung mehr haben kann. Aber auch die Gröſsen M und N werden verschwinden, da, wegen der beiden festen Puncte, alle Rotation um die Axen der y und der x unmöglich geworden ist. Es bleibt daher als Bedingung des Gleichgewichts nur die einzige Gleichung

$$L = 0 \text{ oder } \Sigma . P (x \operatorname{Cos.} \beta - y \operatorname{Cos.} \alpha) = 0.$$

Hätte aber das System noch überdieſs die Freiheit, sich längs dieser Drehungsaxe der z auf und ab zu bewegen, so müſste, zur Herstellung des Gleichgewichts, auch noch die Summe der nach z zerlegten Seitenkräfte gleich Null seyn, oder man würde dann, für das Gleichgewicht die beiden Gleichungen haben

$$K = 0 \text{ und } L = 0.$$

Nehmen wir nun, zur bequemern Uebersicht, das Vorhergehende in seinen wesentlichsten Puncten kurz zusammen. Bei einem ganz freien Systeme von körperlichen Puncten, auf welche die Kräfte P, P′, P″... wirken, hat man für das Gleichgewicht der progressiven Bewegung die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} H &= \Sigma . P \operatorname{Cos.} \alpha = 0 \\ I &= \Sigma . P \operatorname{Cos.} \beta = 0 \\ K &= \Sigma . P \operatorname{Cos.} \gamma = 0 \end{aligned}\right\} \; . \; . \; . \quad (I)$$

und für das Gleichgewicht der rotatorischen Bewegung

$$\left.\begin{aligned} L &= \Sigma.P(x\,\mathrm{Cos.}\beta - y\,\mathrm{Cos.}\alpha) \\ M &= \Sigma.P(z\,\mathrm{Cos.}\alpha - x\,\mathrm{Cos.}\gamma) \\ N &= \Sigma.P(y\,\mathrm{Cos.}\gamma - z\,\mathrm{Cos.}\beta) \end{aligned}\right\} \ldots \quad (II)$$

Steht aber das System unter der Einwirkung dieser Kräfte P, P′, P″... nicht im Gleichgewichte, so sey + R die Resultante aller dieser Kräfte, also — R die dieser Resultante äquipollente Kraft, welche den sämmtlichen Kräften P, P′, P″... das Gleichgewicht hält, so dafs also dann das System unter der Wirkung der Kräfte P P′, P″... und — R im Gleichgewichte seyn wird.

Wenn eine solche äquipollente Kraft — R in der That existirt, so mufs die Bedingungsgleichung

$$KL + IM + HN = 0 \ldots \quad (VI)$$

statt haben, und dann hat man für die Gröfse dieser Aequipollente

$$R = \sqrt{H^2 + I^2 + K^2} \ldots \quad (VII)$$

und für die Richtung derselben, oder für die Winkel A, B, C, welche diese Richtung mit den Axen der drei Coordinaten der x, y, z bildet,

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{Cos.}\,A &= \frac{H}{R} \\ \mathrm{Cos.}\,B &= \frac{I}{R} \\ \mathrm{Cos.}\,C &= \frac{K}{R} \end{aligned}\right\} \ldots \quad (VIII)$$

wobei also immer, wie in den obigen Gleichungen (I), $H = \Sigma.P\,\mathrm{Cos.}\alpha$, $I = \Sigma.P\,\mathrm{Cos.}\beta$ und $K = \Sigma.P\,\mathrm{Cos.}\gamma$ ist. Dadurch ist also die *Gröfse* und die *Richtung* der gesuchten Aequipollente — R gegeben. Um endlich auch den Ort dieser Richtung oder den Ort der geraden, diese Richtung bezeichnenden Linie zu finden, hat man die obigen Gleichungen (V), nämlich

$$\left.\begin{aligned} HY - IX + L &= 0 \\ KX - HZ + M &= 0 \\ IZ - KY + N &= 0 \end{aligned}\right\} \ldots \quad (V)$$

oder, was dasselbe ist, wenn man die Werthe von H, I und K aus den letzten Gleichungen (VIII) substituirt,

$$\left.\begin{array}{l} R(Y\,Cos.A - X\,Cos.B) + L = 0 \\ R(X\,Cos.C - Z\,Cos.A) + M = 0 \\ R(Z\,Cos.B - Y\,Cos.C) + N = 0 \end{array}\right\} \ldots \quad (V)$$

Setzt man nämlich in diesen Gleichungen (V) z. B. die Gröſse $Z = 0$, so findet man die zwei Coordinaten X und Y desjenigen Puncts dieser geraden Linie, in welchen sie die Ebene der xy schneidet, und so fort für die beiden andern coordinirten Ebenen.

Ist aber das System nicht frei, sondern in *einem* seiner Puncte fest, so hat man, wenn man diesen Punct zum Anfangspunct der Coordinaten wählt, für das Gleichgewicht des Systems bloſs die drei Gleichungen (II), nämlich

$$L = 0, \quad M = 0 \text{ und } N = 0 \ldots \quad (IX)$$

Für den Druck R auf den festen Punct hat man noch die Gleichung (VII)

$$R = \sqrt{H^2 + I^2 + K^2} \ldots \quad (X)$$

und die Richtung dieses Drucks wird durch die drei Gleichungen (VIII) gegeben.

Ist endlich das System in *zwei* Puncten fest, und nimmt man die Gerade durch diese zwei Puncte für die Axe der z, die also zugleich die einzig mögliche Rotationsaxe des Systems ist, so bleibt von den sechs Gleichungen (I) und (II) bloſs die vierte übrig, oder die Bedingungsgleichung des Gleichgewichts ist

$$L = \Sigma.P(x\,Cos.\beta - y\,Cos.\alpha) = 0 \ldots \quad (XI)$$

Liegen die beiden festen Puncte in der Axe der y, so hat man für das Gleichgewicht die einzige Gleichung $L = 0$, und wenn endlich die Rotationsaxe in die Axe der x fällt, so hat man die einzige Gleichung $N = 0$.

Die vorhergehenden Ausdrücke werden uns nun in den Stand setzen, das wichtige Problem von dem *gebrochenen Hebel* auf eine viel allgemeinere Weise, als im Eingange dieses Artikels mit bloſsen Elementarbegriffen geschehn konnte, zu betrachten.

E. Winkelhebel

in der Gestalt eines körperlichen Gitters, unter willkürlichen Kräften.

Denken wir uns ein Gitter von unbiegsamen Drähten geflochten, z. B. in der Gestalt einer abgestumpften vierseitigen Pyramide A C$\beta\delta$. In den Durchkreuzungspuncten A, B, C... Fig.
a, b, c... α, β, γ... der Drahtstäbe seyen die körperlichen 234.
Puncte des hier zu betrachtenden Systems befestigt. Auf den ersten dieser Durchkreuzungspuncte A sey die Kraft A P = P angebracht, und zwar in einer Richtung A P, die mit den Axen OX, OY, OZ der Coordinaten die Winkel α, β, γ bildet. Die drei diesen Axen parallelen Coordinaten dieses ersten Punctes seyen O M = x, M N = y und N A = z. Ebenso wirke auf einen zweiten Punct B des Gitters die Kraft B P' = P' unter der Richtung B P', die mit jenen Axen die Winkel α', β', γ' bildet, und der Ort B dieses Punctes werde durch die drei senkrechten Coordinaten O M' = x', M' N' = y' und N' B = z' bestimmt; für einen dritten Punct C seyen dieselben Gröſsen P'', α'', β'', γ'' und x'', y'', z'', und so fort für alle übrigen Puncte des erwähnten Gitters. Werden nun die Drahtstäbe des Gitters, wie gesagt, als unbiegsam und unausdehnbar angesehn, so daſs die einzelnen körperlichen Puncte des Systems immer dieselbe Entfernung unter einander behalten sollen, so geben die letzten Gleichungen des vorhergehenden Abschnittes (D) die Auflösung der verschiedenen Probleme, die man über das Gleichgewicht eines solchen körperlichen Systems unter der Einwirkung der genannten Kräfte aufstellen kann.

Nehmen wir an, daſs die Richtungen aller dieser Kräfte P, P', P''... mit der coordinirten Ebene der x z parallel sind, während übrigens jede dieser Richtungen einen willkürlichen Winkel mit der Axe der x oder der z bildet. Für diesen noch immer sehr allgemeinen Fall sind also die Körper des Systems nach allen Seiten im Raume vertheilt und jeder derselben wird, in Beziehung auf seinen Ort im Raume, durch die drei senkrechten Coordinaten x, y, z oder x', y', z' oder x'', y'', z'' u. s. w. bestimmt; auf diese Körper wirken Kräfte P, P', P'' . . ., deren Richtungen zwar in verschiedenen

Ebenen, jedoch so liegen, dafs alle diese Ebenen jener der xz parallel sind. Unter dieser Voraussetzung sind also in den vorhergehenden allgemeinen Ausdrücken alle Winkel β gleich 90° und alle $\gamma = 90° - \alpha$ zu setzen, und es entstehn nun folgende Probleme.

Wenn dieses System blofs den erwähnten Kräften überlassen und frei in den Raum hingestellt wird, so wird dasselbe, in Folge der Einwirkung dieser Kräfte, nur dann im Gleichgewichte oder auf der ihm angewiesenen Stelle in Ruhe verbleiben, wenn folgende Gleichungen (die obigen 6 Gleichungen (I) und (II), die sich hier auf 5 reduciren) statt haben:

$$H = \Sigma . P \operatorname{Cos.} \alpha = 0, \quad L = -\Sigma . P y \operatorname{Cos.} \alpha = 0$$
$$K = \Sigma . P \operatorname{Sin.} \alpha = 0, \quad N = +\Sigma . P y \operatorname{Sin.} \alpha = 0$$
$$M = \Sigma . P (z \operatorname{Cos.} \alpha - x \operatorname{Sin.} \alpha) = 0 .$$

Wenn aber dieses System in Folge der auf dasselbe einwirkenden Kräfte nicht im Gleichgewichte steht, so wird man doch vielleicht in einem gewissen Puncte dieses Systems eine Resultante $+R$ unter einer bestimmten Richtung anbringen, die allen jenen Kräften P, P′, P″ ... das Gleichgewicht hält, so das also das System unter der Einwirkung der Kräfte

$$P, P', P'' \ldots \text{ und } -R$$

im Gleichgewichte seyn wird. Eine solche Resultante ist aber nur dann möglich, wenn die obige Gleichung (VI), das heifst, da hier $I = 0$ ist, wenn die Gleichung

$$\frac{\Sigma . P \operatorname{Sin.} \alpha}{\Sigma . P \operatorname{Cos.} \alpha} = \frac{\Sigma . P y \operatorname{Sin.} \alpha}{\Sigma . P y \operatorname{Cos.} \alpha}$$

statt findet. Ist dieses der Fall, so ist die Gröfse R dieser Resultante (man s. Gleichung VII)

$$R = \sqrt{(\Sigma . P \operatorname{Cos.} \alpha)^2 + (\Sigma . P \operatorname{Sin.} \alpha)^2}$$

und die Lage dieser mittleren Kraft wird nach den Gleichungen (VIII) durch die Ausdrücke gegeben:

$$\operatorname{Sin.} A = \frac{\Sigma . P \operatorname{Sin.} \alpha}{R} \text{ oder } \operatorname{Cos.} A = \frac{\Sigma . P \operatorname{Cos.} \alpha}{R},$$

wo A und 90° — A der Winkel ist, den diese Resultante mit der Axe der x und der y bildet.

Um endlich noch die drei Coordinaten X, Y und Z irgend eines in der Richtung dieser Resultante liegenden Punctes zu finden, so hat man vermöge der Gleichungen (V)

$$\Sigma . \text{P y Cos.} \alpha - \text{R Y Cos. A} = 0,$$
$$\Sigma . \text{P y Sin.} \alpha - \text{R Y Sin. A} = 0,$$
$$\Sigma . \text{P} (\text{z Cos.} \alpha - \text{x Sin.} \alpha) - \text{R} (\text{Z Cos. A} - \text{X Sin A}) = 0.$$

Setzt man z. B. in diesen drei Gleichungen die Gröſse Z = 0, so erhält man die beiden Coordinaten X und Y desjenigen Punctes, in welchem die Richtung jener Resultante die coordinirte Ebene der xy schneidet.

Alles Vorhergehende gilt, wie gesagt, für ein ganz freies System von Körpern, auf die nämlich keine andere äuſsere Kraft (als die erwähnten P, P′, P″...) und auch sonst kein äuſseres Hinderniſs einwirkt. Nehmen wir aber jetzt an, daſs das System in irgend einem seiner Puncte *fest* ist, so daſs also dadurch seine frühere freie progressive Bewegung im Raume ganz verloren geht, und daſs auch seine frühere freie rotatorische Bewegung jetzt bloſs auf eine Rotation um diesen festen Punct beschränkt wird. Nimmt man diesen festen Punct, der gröſsern Einfachheit wegen, ohne dadurch die Allgemeinheit der Aufgabe zu beschränken, zugleich für den Anfangspunct der Coordinaten, so erhält man (nach den Gleichungen IX und X)

$$\left.\begin{array}{l} \Sigma . \text{P y Cos.} \alpha = 0 \\ \Sigma . \text{P y Sin.} \alpha = 0 \\ \Sigma . \text{P} (\text{z Cos.} \alpha - \text{x Sin.} \alpha) = 0 \end{array}\right\}.$$

Ist endlich das System in zwei Puncten fest, und nimmt man diese zwei Puncte in der Axe der x, die demnach zugleich die einzig mögliche Drehungsaxe des Systems ist, so hat man (Gleichung XI) für das Gleichgewicht die einzige Gleichung

$$\Sigma . \text{P y Sin.} \alpha = 0.$$

Fällt die Rotationsaxe in die Axe der z, so wird diese Gleichung

$$\Sigma . \text{P y Cos.} \alpha = 0,$$

und wenn sie in die Axe der y fällt,

$$\Sigma . \text{P} (\text{z Cos.} \alpha - \text{x Sin.} \alpha) = 0.$$

F. Winkelhebel

in der Gestalt eines körperlichen Gitters, unter der Einwirkung der Schwere.

Lassen wir nun auf dasselbe System körperlicher Puncte, die wie z. B. in der Zeichnung im Raume willkürlich vertheilt sind, blofs die *Schwere* als eine constante Kraft nach der senkrechten Richtung der Axe der z einwirken, so wird man in den Gleichungen (I) und (II) alle Winkel α und β gleich 90 Graden, und alle Winkel γ gleich Null setzen, so dafs daher jene sechs Gleichungen in die folgenden drei übergehn:

Fig. 234.

$$\left.\begin{array}{l} K = 0 \\ M = 0 \\ N = 0 \end{array}\right\},$$

die jetzt folgende Gestalt annehmen:

$$\left.\begin{array}{l} K = 0 \text{ oder } \Sigma.P = 0 \\ M = 0 \text{ oder } \Sigma.Px = 0 \\ N = 0 \text{ oder } \Sigma.Py = 0 \end{array}\right\}.$$

Wenn also diese drei Gleichungen statt haben, so wird das System der körperlichen Puncte, wo man es auch immer im freien Raume der Wirkung der Schwere aussetzt, im Gleichgewicht oder in Ruhe bleiben, ohne weder eine progressive, noch eine rotatorische Bewegung anzunehmen. Es versteht sich dabei von selbst, dafs wenigstens einer dieser Puncte von der Schwere aufwärts, über die horizontale Ebene der xy hinauf gezogen werde (was z. B. mittelst einer über eine Rolle gehenden und mit einem Gewichte beschwerten Schnur geschehn kann), während die übrigen Puncte abwärts, unter die Ebene xy, gezogen werden. Man wird sich nämlich die verschiedenen Puncte des Systems mit verschiedenen Gewichten beschwert denken, von denen alle diejenigen, welche ihren Punct abwärts ziehn, positiv und die, welche ihn über die Ebene der xy zu erheben suchen, negativ genommen werden müssen.

Steht aber das System unter der Wirkung dieser Gewichte nicht im Gleichgewicht, so mufs zuerst untersucht werden, ob sich alle diese Kräfte oder Gewichte auf ein einziges, ihnen

äquipollentes R reduciren lassen, das heifst, ob die Gleichung (VI) besteht. Da aber für unseren Fall $\alpha = \alpha' = \alpha'' \ldots = 90^\circ$ und ebenso $\beta = \beta' = \beta'' \ldots = 90^\circ$ und endlich $\gamma = \gamma' = \gamma'' \ldots$ = Null ist, so verschwinden die drei Zeichen H, I und L von selbst, und die Bedingungsgleichung (VI) hat daher statt. Es giebt also eine solche Aequipollente R, und die Gröfse derselben wird durch die Gleichung (VII) oder durch

$$R = \Sigma . P$$

gegeben. Damit geben aber die Gleichungen (VIII), da H = I = Null und $K = \Sigma . P$ oder $K = R$ ist,

$$A = B = 90^\circ$$

und

$$C = 0,$$

wodurch also die *Richtung* dieser Aequipollente bestimmt wird. Man sieht, dafs diese Richtung ebenfalls mit der Axe der z, wie die Richtungen aller übrigen Kräfte, parallel ist. Für den *Ort* dieser Aequipollente endlich hat man (nach den Gleichungen V)

$$X = \frac{\Sigma . P x}{R},$$

$$Y = \frac{\Sigma . P y}{R}.$$

Ist das System unter der Wirkung der Kräfte P, P', P''... in einem Puncte, dem Anfangspuncte der Coordinaten fest, so geben die Gleichungen (IX) und (X) $R = \Sigma . P$ für den Druck auf diesen Punct, und für das Gleichgewicht um diesen Punct

$$\left.\begin{array}{l} \Sigma . P x = 0 \\ \Sigma . P y = 0 \end{array}\right\}.$$

Sind aber zwei Puncte in der Axe der x fest, so hat man nach der Gleichung (XI) für das Gleichgewicht die einzige Gleichung

$$\Sigma . P y = 0.$$

Durch diese letzten Ausdrücke wird also z. B. das Gleichgewicht eines ebenen Tisches gefunden, der an verschiedenen Puncten mit gegebenen Gewichten P, P', P''... beschwert ist, die alle in einer auf den Tisch senkrechten Richtung denselben zu bewegen streben, wo der Tisch, der selbst hier ohne

Schwere angenommen wird, die Ebene der xy vorstellt, während auf ihn jene Gewichte in der Richtung der z wirken, wo also x, y im Horizonte liegen und z die auf den Horizont verticale Richtung bezeichnet. Da aber der Angriffspunct jeder Kraft bekanntlich in jedem Puncte der Richtung dieser Kraft angebracht werden kann, so können auch diese Gewichte aufserhalb jenes Tisches, über und unter demselben, angebracht werden, ohne dafs dadurch die obigen Ausdrücke eine Aenderung erleiden, da sie, wie man sieht, von der dritten Ordinate z ganz unabhängig sind. Diese Formeln gelten also auch für ein System von Körpern, die auf irgend eine Weise, wie z. B. in der Figur 233, im freien Raume vertheilt sind, wenn nur die an diese Körper angebrachten Richtungen alle der Axe der
Fig. z parallel sind, so dafs also z. B. die Richtung der auf A ge-
234. richteten Kraft nicht mehr, wie zuvor, in AP, sondern in AN, und die Richtung der auf B angebrachten Kraft nicht mehr in BP′, sondern in BN′ liegt u. s. w.

In diesem Abschnitte ist daher die wichtige Aufgabe von dem gebrochenen Hebel auf eine sehr allgemeine Weise aufgelöst worden. Zur Erläuterung der gegebenen Formeln wollen wir noch folgendes einfache Beispiel hinzufügen.

Seyen die Coordinaten der Puncte x und y eines horizontalen Tisches, auf welche die Gewichte P, P′... in verticalen Richtungen wirken, nach der Ordnung

Punct	I	II	III	IV
	$x=1$	$x'=2$	$x''=3$	$x'''=4$
	$y=1$	$y'=-2$	$y''=3$	$y'''=-4$
	$P=1$ Pfund	$P'=2$	$P''=3$	$P'''=4$.

Da der Tisch unter der Wirkung dieser vier Gewichte nicht im Gleichgewichte stehn kann, wie denn auch keiner einzigen der drei vorhergehenden Gleichungen

$$\Sigma.P=0;\quad \Sigma.Px=0;\quad \Sigma.Py=0$$

Genüge geschieht, so hat man die Gröfse, die Richtung und den Ort der Aequipollente R zu suchen, welche jenen vier Gewichten zusammen das Gleichgewicht hält.

Es ist aber

$$\Sigma.P = R = 10$$
$$\Sigma.Px = 1 + 4 + 9 + 16 = 30$$
$$\Sigma.Py = 1 - 4 + 9 - 16 = -10,$$

so dafs man also für die Gröfse der Aequipollente $R' = -10$, und für den Ort derselben in der Ebene des Tisches

$$X = \frac{30}{10} = 3,$$

$$Y = -\frac{10}{10} = -1$$

hat. Die Richtung der Aequipollente aber ist, da $A = B = 90°$ und $C = 0$ ist, ebenfalls senkrecht auf die Ebene des Tisches. Es wird daher diese Ebene unter der Wirkung der fünf angezeigten, in den gegebenen Puncten angebrachten Gewichte

$P = 1$, $P = 2$, $P = 3$, $P = 4$ und $R = -10$ Pfunde

in jedem Orte des freien Raums, wo dieses System hingestellt wird, im Gleichgewichte schweben. In der That werden auch durch diese fünf Gewichte die obigen drei Gleichungen des freien Gleichgewichts gehörig dargestellt, indem man hat

$$\Sigma.P = 1 + 2 + 3 + 4 - 10 = 0$$
$$\Sigma.Px = 1 + 4 + 9 + 16 - 30 = 0$$
$$\Sigma.Py = 1 - 4 + 9 - 16 + 10 = 0,$$

wie es seyn soll.

Dieser gebrochene Hebel läfst sich durch eine Figur dar- Fig.
stellen, worin $AB = x$, $BC = y$ die zwei horizontalen und 235.
$Cp = z$ die verticale Coordinate des Körpers p, die Linie Pp die Gröfse und Richtung der Kraft P vorstellt, und ebenso mit den andern Gröfsen $AB' = x'$, $B'C' = y'$, $Cp' = z'$, $P'p' = P'$ u. s. w., so dafs die vier ersten Kräfte Pp, $P'p'$, $P''p''$ und $P'''p'''$ die Körper abwärts oder zu der horizontalen Ebene der Coordinaten x und y hinziehn, während die fünfte Kraft oder die Aequipollente Rr diese Ebene aufwärts zu bewegen strebt und dadurch das ganze System im Gleichgewichte hält. Ganz ebenso hält aber auch jede einzelne dieser Kräfte, z. B. die Kraft $P' = P'p'$, die auf den Punct C' des ebenen Tisches wirkt, die vier übrigen Kräfte im Gleichgewicht, oder P' kann ebenso als die Aequipollente von den vier Kräften P', P'', P''' und R angesehn werden u. s. f.

G. Winkelhebel

in der Gestalt eines ebenen Netzes unter Kräften, deren Richtungen einer gegebenen Ebene parallel sind.

Nehmen wir an, daſs alle körperliche Puncte des Systems in einer ebenen Tafel, in der Ebene der xy, liegen und daſs die übrigens willkürlichen Richtungen der auf jene Körper wirkenden Kräfte wieder der Ebene der xz parallel sind. Dieses
Fig. 236. ist z. B. der Fall, wenn ein horizontaler Tisch ABCD, der selbst ohne Schwere gedacht wird, in den gegebenen Puncten A, B ...... E, F ...... mit verschiedenen Gewichten belegt wird, deren Gröſse und Richtung durch die Linien Aa = P, Bb = P′, Cc = P″ ...... ausgedrückt wird, wo diese Linien gegebene Winkel unter sich bilden, jedoch alle der coordinirten Ebene der xz parallel sind. Da hier wieder alle β gleich 90° und alle $\gamma = 90° - \alpha$, überdieſs alle z gleich Null sind, so hat man für das Gleichgewicht eines ganz freien Systems die fünf Gleichungen:

$$\Sigma.\,P\,\mathrm{Cos}.\,\alpha = 0 \qquad \Sigma.\,P\,x\,\mathrm{Sin}.\,\alpha = 0$$
$$\Sigma.\,P\,\mathrm{Sin}.\,\alpha = 0 \qquad \Sigma.\,P\,y\,\mathrm{Sin}.\,\alpha = 0$$
$$\Sigma.\,P\,y\,\mathrm{Cos}.\,\alpha = 0.$$

Ist aber das System unter der Wirkung dieser Kräfte P, P′, P″.. nicht im Gleichgewichte, so wird es doch eine einzige Resultante haben, wenn die Gleichung besteht

$$\frac{\Sigma.\,P\,\mathrm{Cos}.\,\alpha}{\Sigma.\,P\,\mathrm{Sin}.\,\alpha} = \frac{\Sigma.\,P\,y\,\mathrm{Cos}.\,\alpha}{\Sigma.\,P\,y\,\mathrm{Sin}.\,\alpha}.$$

Sind dann A und 90° — A die Winkel der Richtung dieser Resultante, und bezeichnet man durch R die Gröſse, so wie durch X und Y die Coordinaten irgend eines Punctes derselben, so hat man

$$R = \sqrt{(\Sigma.\,P\,\mathrm{Cos}.\,\alpha)^2 + (\Sigma.\,P\,\mathrm{Sin}.\,\alpha)^2}$$

und

$$\mathrm{Sin}.\,A = \frac{\Sigma.\,P\,\mathrm{Sin}.\,\alpha}{R}, \quad \mathrm{Cos}.\,A = \frac{\Sigma.\,P\,\mathrm{Cos}.\,\alpha}{R},$$

und endlich

$$X = \frac{\Sigma.\,P\,x\,\mathrm{Sin}.\,\alpha}{\Sigma.\,P\,\mathrm{Sin}.\,\alpha}, \quad Y = \frac{\Sigma.\,P\,y\,\mathrm{Sin}.\,\alpha}{\Sigma.\,P\,\mathrm{Sin}.\,\alpha}.$$

Wäre aber das System in dem Anfangspuncte der Coordinaten fest, so hat man für das Gleichgewicht des Systems bloſs die drei Gleichungen

$$\Sigma . P y \operatorname{Cos}. \alpha = 0$$
$$\Sigma . P y \operatorname{Sin}. \alpha = 0$$
$$\Sigma . P x \operatorname{Sin}. \alpha = 0 .$$

Ist es endlich in zwei Puncten fest und liegen diese Puncte in der Axe der x, so hat man für das Gleichgewicht bloſs die einzige Gleichung

$$\Sigma . P y \operatorname{Sin}. \alpha = 0 .$$

H. Winkelhebel,

wo die Körper und die Richtungen der auf sie wirkenden Kräfte alle in derselben Ebene liegen.

Nehmen wir dafür die Ebene der xz, also z. B. eine senkrechte Tafel an (wo x horizontal und z vertical ist). Für diesen Fall wird man in den vorhergehenden allgemeinen Gleichungen (Abschnitt D zu Ende) die Gröſsen $\beta = 90^\circ$, $\gamma = 90^\circ - \alpha$ und überdieſs $y = 0$ setzen, so daſs man daher für die Bedingungen des Gleichgewichts eines solchen freien Systems die drei Gleichungen erhält:

$$\Sigma . P \operatorname{Cos}. \alpha = 0$$
$$\Sigma . P \operatorname{Sin}. \alpha = 0$$
$$\Sigma . P (z \operatorname{Cos}. \alpha - x \operatorname{Sin}. \alpha) = 0 ,$$

wo dann die einzelnen Richtungen der Kräfte alle in der Ebene der xz liegen, aber mit der Axe der x oder der z verschiedene Winkel bilden. Dieses Problem enthält die Theorie des Winkelhebels, wie er bisher in seiner allgemeineren Bedeutung genommen zu werden pflegte. Man denkt sich nämlich die körperlichen Puncte A, A′, A″... durch mehrere gerade, unbiegsame Linien AA′, A′A″, A″A‴... unter einander verbunden und auf diese Körper die Kräfte A P = P, A′ P′ = P′, A″ P″ = P″... in den durch die Figur angezeigten Richtungen wirkend. Ferner bezeichnen OX und OZ die Coordinatenaxen der x und der z der einzelnen Körper, und man zählt die Winkel der Kräfterichtungen alle nach einer Seite, so daſs also der Winkel Fig. 237.

$BaA = \alpha$, $360° - B'a'A' = \alpha'$, $180° - B''a''A'' = \alpha''$ und $180° + B'''a'''A''' = \alpha'''$ ist u. s. w., wo dann alle Kräfte $P, P', P''\ldots$ für sich als positiv angenommen werden.

Ist nun dieses System unter der Wirkung der Kräfte $P, P', P''\ldots$ nicht im Gleichgewichte, so hat man, wenn man noch die diesen Kräften äquipollente Kraft $-R$ einführt, für das Gleichgewicht unter der Wirkung der Kräfte $P, P'' P''\ldots$ und R folgende Gleichungen:

$$\Sigma . P \operatorname{Cos}. \alpha - R \operatorname{Cos}. A = 0$$
$$\Sigma . P \operatorname{Sin}. \alpha - R \operatorname{Sin}. A = 0$$
$$\Sigma . P (z \operatorname{Cos}. \alpha - x \operatorname{Sin}. \alpha) - R (Z \operatorname{Cos}. A - X \operatorname{Sin}. A) = 0.$$

Die beiden ersten dieser Gleichungen geben für die Gröfse dieser Aequipollente

$$R^2 = (\Sigma . P \operatorname{Cos}. \alpha)^2 + (\Sigma . P \operatorname{Sin}. \alpha)^2$$

und für die Richtung derselben

$$\operatorname{Cos}. A = \frac{\Sigma . P \operatorname{Cos}. \alpha}{R} \text{ und } \operatorname{Sin}. A = \frac{\Sigma . P \operatorname{Sin}. \alpha}{R}.$$

Endlich giebt die letzte jener drei Gleichungen, wenn man in ihr $Z = 0$ setzt,

$$X = -\frac{\Sigma . P (z \operatorname{Cos}. \alpha - x \operatorname{Sin}. \alpha)}{\Sigma . P \operatorname{Sin}. \alpha}.$$

für den Punct, in welchem die Resultante die Axe der x schneidet.

I. Geradliniger Hebel

in seiner allgemeinsten Bedeutung.

Aus den oben (Abschnitt D) gegebenen Ausdrücken für den Winkelhebel folgen nun auch sofort die für den geradlinigen Hebel in seiner allgemeinsten Bedeutung, d. h. für ein System von körperlichen Puncten, die alle in einer *einzigen* geraden Linie liegen, auf deren jeden aber gegebene Kräfte nach willkürlichen Richtungen im Raume wirken.

Fig. 238. Seyen $A, A', A''\ldots$ die körperlichen Puncte in der Axe der x. Auf den ersten A dieser Puncte wirke die Kraft $AP = P$ in einer Richtung AP, die mit den drei Axen der x, y, z die Winkel α, β, γ bildet; für den zweiten Punct A' seyen diese

Winkel der Kraft $A'P' = P'$ in derselben Ordnung α', β', γ' und so fort für die übrigen. Für diesen Fall wird man in den allgemeinen Gleichungen blofs die Gröfsen y und z gleich Null setzen, wodurch man also für das Gleichgewicht des freien Systems die fünf Gleichungen erhält

$$\Sigma . P \; Cos. \alpha = 0$$
$$\Sigma . P \; Cos. \beta = 0$$
$$\Sigma . P \; Cos. \gamma = 0$$
$$\Sigma . P x \, Cos. \beta = 0$$
$$\Sigma . P x \, Cos. \gamma = 0 ,$$

wo $OA = x$, $OA' = x'$, $OA'' = x''$ u. f. ist.

Hat aber zwischen diesen Kräften kein Gleichgewicht statt, so wird das System nur dann eine einzige Resultante haben, wenn man, da $N = 0$ ist, hat

$$KL + IM = 0,$$

oder wenn man hat

$$\Sigma . P \, Cos. \gamma . \Sigma . P x \, Cos. \beta - \Sigma . P \, Cos. \beta . \Sigma . P x \, Cos. \gamma = 0,$$

und dann hat man für die Gröfse und Richtung dieser Resultante

$$R^2 = (\Sigma . P \, Cos. \alpha)^2 + (\Sigma . P \, Cos. \beta)^2 + (\Sigma . P \, Cos. \gamma)^2$$

und

$$Cos. A = \frac{\Sigma . P \, Cos. \alpha}{R}, \; Cos. B = \frac{\Sigma . P \, Cos. \beta}{R}, \; Cos. C = \frac{\Sigma . P \, Cos. \gamma}{R}$$

und endlich für den Ort derselben

$$X = \frac{\Sigma . P x \, Cos. \gamma}{\Sigma . P \, Cos. \gamma} .$$

Ist aber der Hebel im Anfangspuncte der Coordinaten fest, so hat man für das Gleichgewicht nur die zwei Gleichungen $L = 0$ und $M = 0$ oder, was dasselbe ist,

$$\Sigma . P x \, Cos. \beta = 0 \text{ und } \Sigma . P x \, Cos. \gamma = 0 .$$

Ein besonderer, bemerkenswerther Fall dieses Problems ist der, wenn die Richtungen der im Raume vertheilten Kräfte alle auf dem geradlinigen Hebel OX senkrecht stehn. Dann ist nämlich jedes $\alpha = 90°$ und jedes $\gamma = 90° - \beta$, so dafs man also für diesen Fall das Gleichgewicht des freien Systems durch folgende Gleichungen ausdrücken wird:

$$\Sigma . P \ \text{Cos.}\beta = 0 \qquad \Sigma . P \, \text{Sin.}\beta = 0$$
$$\Sigma . P x \, \text{Cos.}\beta = 0 \qquad \Sigma . P x \, \text{Sin.}\beta = 0 .$$

Erhalten aber diese Kräfte das System nicht im Gleichgewichte, so mufs für die Existenz einer Resultante die Bedingungsgleichung statt haben

$$\frac{\Sigma . P x \, \text{Sin.}\beta}{\Sigma . P x \, \text{Cos.}\beta} = \frac{\Sigma . P \ \text{Sin.}\beta}{\Sigma . P \ \text{Cos.}\beta},$$

und dann hat man für diese Resultante

$$R^2 = (\Sigma . P \, \text{Cos.}\beta)^2 + (\Sigma . P \, \text{Sin.}\beta)^2,$$

$$\text{Sin.} B = \frac{\Sigma . P \ \text{Sin.}\beta}{R} \text{ und } \text{Cos.} B = \frac{\Sigma . P \ \text{Cos.}\beta}{R},$$

und endlich

$$X = \frac{\Sigma . P x \, \text{Sin.}\beta}{\Sigma . P \, \text{Sin.}\beta} \text{ oder auch } X = \frac{\Sigma . P x \, \text{Cos.}\beta}{\Sigma . P \, \text{Cos.}\beta}.$$

Für ein im Anfangspuncte O festes System hat man blofs die zwei Gleichungen

$$\Sigma . P x \ \text{Cos.}\beta = 0 \text{ und } \Sigma . P x \, \text{Sin.}\beta = 0 .$$

Sind endlich für den geradlinigen Hebel die Richtungen der Kräfte alle in einer Ebene, die durch diese gerade Linie geht, so kann man diese Gerade für die Axe der x und diese Ebene für die coordinirte Ebene der xz annehmen, wie dieses durch die Figur ausgedrückt wird. Ist
Fig. 239. nämlich $MA = -x$, $MA' = x'$, $MA'' = x'' \ldots$ und der Winkel $MAP = 180^\circ - \alpha$, $MA'P' = 360^\circ - \alpha'$, $MA''P'' = \alpha''$ u. s. w., so wird man für diesen speciellen Fall in den vorhergehenden allgemeinen Gleichungen $y = z = 0$ und $\beta = 90^\circ$, so wie $\gamma = 90^\circ - \alpha$ setzen, wodurch man für das Gleichgewicht des freien Systems erhält

$$\left.\begin{array}{r} \Sigma . P \ \text{Cos.}\alpha = 0 \\ \Sigma . P \ \text{Sin.}\alpha = 0 \\ \Sigma . P x \, \text{Sin.}\alpha = 0 \end{array}\right\} \ldots \quad (1)$$

Ist der Hebel unter der Wirkung dieser Kräfte nicht im Gleichgewichte, so wird doch, da hier die Gröfsen I, L und N, jede für sich, gleich Null sind, immer eine Resultante bestehn, und ihre Gröfse und Richtung wird durch die Gleichungen bestimmt werden:

$$\left.\begin{array}{l} R^2 = (\Sigma.\,P\,\text{Cos.}\,\alpha)^2 + (\Sigma.\,P\,\text{Sin.}\,\alpha)^2 \\ \text{Sin.}\,A = \dfrac{\Sigma.\,P\,\text{Sin.}\alpha}{R};\ \text{Cos.}\alpha = \dfrac{\Sigma.\,P\,\text{Cos.}\,\alpha}{R} \end{array}\right\} \ldots \quad (2)$$

Für den Ort dieser Resultante aber hat man aus den Gleichungen (V) des Abschnitts (D)

$$X = -\frac{M}{K} = \frac{\Sigma.\,Px\,\text{Sin.}\,\alpha}{\Sigma.\,P\,\text{Sin.}\,\alpha} \ldots \quad (3)$$

und

$$Z = \frac{M}{H} = -\frac{\Sigma.\,Px\,\text{Sin.}\,\alpha}{\Sigma.\,P\,\text{Cos.}\,\alpha} \ldots \quad (4)$$

Um auf diese Ausdrücke ein numerisches Beispiel anzuwenden, sey, übereinstimmend mit der Zeichnung der letzten Figur, $x = -2$, $x' = +3$ und $x'' = +4$. Die auf diese Puncte wirkenden Kräfte seyen $P = 10$ Pfund, $P' = 20$ und $P'' = 30$. Endlich nehme man für die Richtungen dieser Kräfte mit der Abscissenaxe $\alpha = 40°$, $\alpha' = 300°$ und $\alpha'' = 120°$. Da diese drei Kräfte den freien Hebel nicht im Gleichgewichte halten, so suche man ihre Resultante R oder vielmehr ihre Aequipollente $R' = -R$, die in Verbindung mit jenen drei Kräften P, P', P'' das Gleichgewicht des Hebels giebt. Es ist aber

$$\begin{array}{llll} P\ \text{Cos.}\,\alpha = & 7{,}66 & P\ \text{Sin.}\,\alpha = & 6{,}43 \\ P'\ \text{Cos.}\,\alpha' = & 10{,}00 & P'\ \text{Sin.}\,\alpha' = - & 17{,}32 \\ P''\ \text{Cos.}\,\alpha'' = - & 15{,}00 & P''\ \text{Sin.}\,\alpha'' = & 25{,}98, \end{array}$$

also ist auch

$$\Sigma.\,P\,\text{Cos.}\,\alpha = 2{,}66 \text{ und } \Sigma.\,P\,\text{Sin.}\,\alpha = 15{,}09.$$

Dieses vorausgesetzt geben die vorhergehenden Gleichungen für die Resultante

$$R^2 = (2{,}66)^2 + (15{,}09)^2 = 234{,}7837$$

oder

$$R = 15{,}3227, \text{ und daher auch } A = 80°\,0'\,10'',$$

wo dann die Aequipollente $R' = -15{,}3227$ seyn wird. Man kann aber auch, wie bisher, alle Kräfte P, P', P'' und R' positiv annehmen, wenn man nur dafür den vorigen Winkel A um 180° vermehrt, so dafs man also für die gesuchte Aequipollente haben wird

$$R' = 15{,}3227 \text{ und } A = 260°\ 0'\ 10''.$$

In der Figur ist $Rr = R'$ und $A = 360° - MrR$.

Um endlich noch die Durchschnittspuncte der Aequipollente mit den Axen der x und z zu finden, hat man

$$\begin{aligned} P\,x\,\text{Sin.}\,\alpha &= -\ \ 12{,}86 \\ P'\,x'\,\text{Sin.}\,\alpha' &= -\ \ 51{,}96 \\ P''\,x''\,\text{Sin.}\,\alpha'' &= +\,103{,}92 \\ \Sigma.\,P\,x\,\text{Sin.}\,\alpha &= \ \ \ 39{,}10, \end{aligned}$$

woraus folgt

$$X = \frac{39{,}10}{15{,}09} = 2{,}591 = Mr$$

und

$$Z = -\frac{39{,}10}{2{,}66} = -14{,}70.$$

Um zu sehn, ob zwischen diesen vier Kräften P, P′, P″ und R′ in der That Gleichgewicht herrscht, so hat man

$$\begin{array}{lll} x = -2 & \alpha = 40 & P = 10 \\ x' = +3 & \alpha' = 300 & P' = 20 \\ x'' = +4 & \alpha'' = 120 & P'' = 30 \\ x''' = +2{,}59 & \alpha''' = 260^\circ\,0'\,10'' & P''' = 15{,}3227. \end{array}$$

Wenn hier Gleichgewicht bestehn soll, so müssen die drei Gröſsen

$$\Sigma.\,P\,\text{Cos.}\,\alpha, \quad \Sigma.\,P\,\text{Sin.}\,\alpha, \quad \Sigma.\,P\,x\,\text{Sin.}\,\alpha$$

jede für sich gleich Null seyn. Es ist aber

$$\begin{array}{rrr} P\,\text{Cos.}\,\alpha = \ \ 7{,}66 & P\,\text{Sin.}\,\alpha = \ \ 6{,}43 & P\,x\,\text{Sin.}\,\alpha = -\ \ 12{,}86 \\ 10{,}00 & -\ 17{,}32 & -\ \ 51{,}96 \\ -\ 15{,}00 & 25{,}98 & 103{,}92 \\ -\ \ 2{,}666 & -\ 15{,}09 & -\ \ 39{,}09 \end{array}$$

und die Summe dieser drei Zahlenreihen ist auch in der That, jede für sich, gleich Null.

Ist endlich der Hebel, unter der Wirkung der drei ersten Kräfte P, P′, P″, in dem Anfangspuncte der Coordinaten fest, und sucht man eine vierte Kraft P‴, so daſs der feste Hebel unter diesen vier Kräften im Gleichgewichte ist, so hat man, nach dem Vorhergehenden, bloſs die einzige Gleichung

$$\Sigma.\,P\,x\,\text{Sin.}\,\alpha = 0,$$

das heiſst,

$$P'''\,x'''\,\text{Sin.}\,\alpha''' = -\,(P\,x\,\text{Sin.}\,\alpha + P'\,x'\,\text{Sin.}\,\alpha' + P''\,x''\,\text{Sin.}\,\alpha''),$$

oder wenn man in diesem Ausdrucke, rechts von dem Gleichheitszeichen, die vorhergehenden numerischen Werthe substituirt,

$$P'''x'''\,\text{Sin.}\,\alpha''' = -39{,}10.$$

Man kann daher, um die letzte Aufgabe aufzulösen, zwei von den drei Gröſsen

$$P''',\ x'''\ \text{oder}\ \alpha'''$$

willkürlich annehmen und dann die dritte mittelst der letzten Gleichung bestimmen. Ist z. B. $P''' = 25°$ und $\alpha''' = 200°$, so findet man

$$P'''\,\text{Sin.}\,\alpha''' = -8{,}551$$

und daher

$$x''' = \frac{-39{,}10}{-8{,}551} = +4{,}57.$$

Sind endlich, wie zuvor, alle körperliche Puncte des Systems in einer geraden Linie, in der Axe der x, und die Richtungen der Kräfte alle in der Ebene der xz und sämmtlich parallel mit der Axe der z, so wird man in den vorhergehenden Gleichungen (1) bis (4) nur den Winkel $\alpha = 90°$ zu setzen haben. Man erhält so für das Gleichgewicht des freien Systems die zwei Gleichungen

$$\left.\begin{array}{l}\Sigma.P\ \ = 0\\ \Sigma.Px = 0\end{array}\right\}\ldots\ (1')$$

Sollten aber diese Kräfte P, P′, P″ . . . das System nicht im Gleichgewichte halten, so hat man für ihre Resultante

$$R = \Sigma.P\ \text{und, da}\ A = 90°\ \text{ist,}$$

$$X = \frac{\Sigma.Px}{R}.$$

Die letzte Gleichung kann auch so ausgedrückt werden:

$$X = \frac{Px + P'x' + P''x'' + \ldots}{P + P' + P'' + \ldots}$$

und dieses ist der bekannte Ausdruck für den geradlinigen, mit mehrern Gewichten beschwerten Hebel, der unter der Wirkung der Schwere im Gleichgewichte steht.

Wird das System in einem seiner Puncte, in dem Anfangspuncte der Coordinaten, fest angenommen, so hat man für das Gleichgewicht nur die einzige Gleichung

$$\Sigma.Px = 0,$$

wo dann der Druck, welchen diese Kräfte auf den festen

Punct ausüben, gleich $\Sigma.P$ ist. Bemerken wir noch zum Schlusse dieser Untersuchung, dafs die oben (zu Ende des Abschnittes D) aufgestellten allgemeinen Gleichungen nur das Resultat eines einzigen der vielen Beispiele sind, die Lagrange in seiner *Mécanique analytique* zur Erläuterung seiner Theorie der Statik mitgetheilt hat, wo er, aus Veranlassung dieses Beispiels, jene Formeln, die zugleich die allgemeinsten Grundformeln der Statik sind, für diesen speciellen Fall besonders entwickelt. Da Murhard, der deutsche Uebersetzer dieses unsterblichen Werkes, in seiner Einleitung zu demselben sagt, dafs G. A. Kästner dieses Buch wohl im Allgemeinen gelobt, aber auch hinzugesetzt habe, man würde sich wohl vergebens bemühn, aus den vielen Formeln desselben auch nur die Theorie des einfachen Hebels abzuleiten, so wird es vielleicht nicht unangemessen erscheinen, bei der gegenwärtigen Gelegenheit diese für unmöglich ausgegebene Ableitung aus jenen Formeln unmittelbar gegeben zu sehn, wobei wir die Bemerkung nicht unterdrücken können, dafs jenes Werk vielleicht das erste und gröfste von allen mathematischen Werken ist, dessen sich unsere an Arbeiten solcher Art so reiche Zeit rühmen kann, und dafs wohl erst die künftigen Jahrhunderte die völlige Entwickelung aller der Keime von höchst wichtigen und fruchtbaren Ideen sehn wird, die der unsterbliche Verfasser in diesem Werke niedergelegt hat.

L.

Winter.

Hiems; Hiver; *Winter*.

Im gemeinen Leben wird diejenige Jahreszeit so genannt, wo die Tage am kürzesten sind und die Vegetation durch die Kälte unterbrochen wird. In wissenschaftlicher oder astronomischer Bedeutung heifst *Winter* in der nördlichen Hemisphäre die Zeit von dem kürzesten Tage des Jahres bis zur Frühlingsnachtgleiche, oder genauer noch, die Zeit von dem tiefsten Stande der Sonne unter dem Aequator bis zu ihrem Eintritt in den Aequator, oder endlich die Zeit, wo die Länge der Sonne von 270 bis zu 360 Graden wächst. Der Anfang dieser Zeit fällt um den 21sten December und das Ende um den

21sten März, während unser *Sommer* oder die Zeit der Sonnenlänge von 90 bis 180 Grad vom 21sten Juni bis zum 23sten September währt. In der südlichen Hemisphäre sind die sämmtlichen vier Jahreszeiten jenen der nördlichen Halbkugel entgegengesetzt, also ist dort Winter, wenn es bei uns Sommer ist, und umgekehrt, so daſs in der südlichen Hemisphäre der Winter mit dem 21sten Juni anfängt und mit der Nachtgleiche um den 23sten September endet. In der heiſsen Zone sowohl, als auch in den beiden kalten, ist die Temperatur und die Einwirkung derselben auf die Vegetation in diesen beiden Jahreszeiten zwar lange nicht so sehr verschieden, wie in den gemäſsigten Zonen, doch kann man auch hier allgemein den Anfang des Winters die Zeit nennen, wo für die ihnen nächste gemäſsigte Zone der mittägige Abstand der Sonne vom Zenith am gröſsten ist, so daſs also die nördliche Hälfte der heiſsen Zone ihren Winter mit dem 21sten December, die südliche aber mit dem 21sten Juni beginnt.

Die Ursache der höheren Temperatur des Sommers in beiden Hemisphären, in Beziehung auf jene des Winters, ist nicht die gröſsere Nähe der Sonne bei der Erde. In der That ist für die nördliche Hemisphäre im Winter die Sonne viel näher als im Sommer. Die Differenz beträgt nahe 700000 geogr. Meilen. Die wahre Ursache ist die mittägige Stellung der Sonnenstrahlen, die im Sommer einen viel gröſseren Winkel mit unserem Horizonte bilden, als im Winter, verbunden mit der gröſsern Länge der Tage im Sommer. Auch ist wegen der Excentricität der Erdbahn der Sommer auf der nördlichen Hemisphäre um nahe 8 Tage länger als der Winter. Es dauert nämlich in dieser Hemisphäre

der Frühling	92,9 . . .	der Herbst	89,7	Tage
der Sommer	93,6 . . .	der Winter	89,1	
Summe	186,5		178,8	

Auf der südlichen ist dieses Verhältniſs umgekehrt, da dort, wie gesagt, alle Jahreszeiten den unseren entgegengesetzt sind. Dieses wird so lange dauern, als das Perihelium der Erdbahn auf diejenige Seite der Aequinoctiallinie fällt, auf der es jetzt ist. In der Folge der Zeiten aber wird sich dieses Verhältniſs umkehren, und dann wird auf der nördlichen Halbkugel die Summe der Dauer des Frühlings und Sommers kleiner seyn

als die der beiden andern Jahreszeiten. Aber auch dieser Umstand wird nie einen beträchtlichen Einfluſs auf die Temperatur der verschiedenen Jahreszeiten haben.

Um zu sehn, welchen Einfluſs jener verschiedene Einfallswinkel der mittägigen Sonnenstrahlen im Sommer und Winter auf die Temperatur hat, sey TA ein kleiner Theil der Fig. 240. Oberfläche der Erde. Im tiefsten Winter, zur Zeit des Wintersolstitiums, fallen diese Strahlen Mittags unter dem Winkel $BAD = \beta TD$, und im höchsten Sommer, im Sommersolstitium, unter dem Winkel $CAD = \gamma TD$ auf den Horizont TAD auf. Zieht man von O die Lothe OM auf AB und ON auf $T\gamma$, so verhält sich die Menge der auf die Linie AT fallenden Strahlen

$$\frac{\text{im Winter}}{\text{im Sommer}} = \frac{OM}{ON} = \frac{\text{Sin.}\, h}{\text{Sin.}\, h'},$$

wo h und h′ die mittägigen Sonnenhöhen im Winter- und im Sommersolstitium bezeichnen.

Ist nun φ die Polhöhe des Ortes T auf der Oberfläche der Erde und e die Schiefe der Ekliptik, so ist

$$\frac{\text{Sin.}\, h}{\text{Sin.}\, h'} = \frac{\text{Sin.}\,(90^\circ - (\varphi + e))}{\text{Sin.}\,(90^\circ - (\varphi - e))} = \frac{\text{Cos.}\,(\varphi + e)}{\text{Cos.}\,(\varphi - e)}.$$

Für Wien ist $\varphi = 48^\circ\, 12'$, und da überdieſs die Schiefe der Ekliptik $e = 23^\circ\, 28'$ ist, so hat man für Wien

$$\frac{\text{Sin.}\, h}{\text{Sin.}\, h'} = \frac{0{,}3145}{0{,}9083} = 0{,}346,$$

oder jede kleine Linie TA der Oberfläche der Erde wird im Winter nur 0,346, also auch jede kleine Fläche der Erde nur 0,120mal soviel mittägige Sonnenstrahlen, also auch im Allgemeinen ebenso viel weniger Erleuchtung und Erwärmung erhalten, als im Sommer.

Die zweite oben angegebene Ursache der höheren Temperatur des Sommers, die gröſsere Länge der Tage, ist für sich klar. So beträgt die Länge des Tags für Wien im Sommer 15 Stunden 52 Minuten, im Winter aber nur 8 St. 9 Min., also nahe nur die Hälfte von jener Zeit. In gröſsern Breiten ist dieser Unterschied noch viel bedeutender; so ist z. B. für Petersburg der längste Tag über 18, und der kürzeste noch nicht 6 Stunden. Zu diesen beiden Ursachen kommt aber noch

eine dritte, dafs nämlich die Sonnenstrahlen zur Zeit eines tieferen Standes der Sonne über dem Horizont einen viel gröfseren Weg durch die Atmosphäre, besonders durch die unteren Theile derselben, machen müssen, welche Theile mit vielen Dünsten versehn und schon an sich bedeutend dichter sind, daher auch die Wirkung der Strahlen sehr schwächen. Sey AB die Oberfläche und T der Mittelpunct der Erde, FE die äufserste Schicht der Atmosphäre, B der Beobachtungsort, und α der Ort der Sonne im Horizonte bei ihrem Auf- oder Untergang, β der Ort derselben im Mittag im Wintersolstitium und endlich γ im Sommersolstitium. Ist die Höhe des Atmosphäre BF nahe = zehn geogr. Meilen, so ist $B\gamma = 10\frac{1}{2}$, $B\beta = 30\frac{1}{2}$ und $B\alpha = 131$ Meilen, nämlich Fig. 241.

$$B\alpha = \sqrt{T\alpha^2 - TB^2},$$

wo TB = 859 der Halbmesser der Erde und $T\alpha = TF = 859 + 10 = 869$ Meilen beträgt. Man sieht daraus, dafs der sommerliche Weg der mittägigen Strahlen in der Atmosphäre nahe dreimal kürzer ist als der winterliche, und dafs derselbe Weg beim Auf- und Untergange der Sonne sogar über 130 Meilen beträgt, weswegen man auch die auf- oder untergehende Sonne, ohne Schmerz im Auge zu empfinden, anblicken kann. Vermehrt wird dieses Verhältnifs der Schwächung der Lichtstrahlen noch dadurch, dafs die der Erde näheren atmosphärischen Schichten zugleich die dichteren und mit vielen Dünsten angefüllt sind, und dafs besonders beim Auf- und Untergange der Sonne der Weg Bm durch diese dichteren Schichten sehr viel gröfser ist, als der Weg BD, wenn die Sonne im Zenith F des Beobachters steht.

Indem Lambert in seiner Photometrie alles Vorhergehende zusammennahm, fand er für die Stärke K der Beleuchtung oder Erwärmung der Sonnenstrahlen für verschiedene Höhen der Sonne über dem Horizont folgende kleine Tafel.

Sonnenhöhe	Beleuchtung K
10°	8
20	73
30	173
40	282
50	384
60	470
70	535
80	575
90	589

Diese Tafel giebt für Wien und

für $h = 90^\circ - (\varphi + e) = 18^\circ\, 20' \ldots K = 62$ und

für $h = 90^\circ - (\varphi - e) = 65^\circ\, 20' \ldots K' = 504$

also auch

$$\frac{K}{K'} = \frac{62}{504} = 0{,}123\,,$$

nahe mit dem Vorhergehenden übereinstimmend, da wir dort

$$\left(\frac{\text{Sin. h}}{\text{Sin. h}'}\right)^2 = 0{,}120$$

gefunden haben. *L.*

Winterpunct.

Winter-Wendepunct; *Punctum solstitii hiberni;* Solstice d'hiver; *Winter-Solstice.*

So wird derjenige Punct der Ekliptik genannt, in welchem die Sonne ihre gröſste südliche Abweichung, die gleich der Schiefe der Ekliptik ist, erreicht. Dieser Punct hat die Länge von 270 Graden vom Frühlingspuncte, von West gen Ost, gezählt. Durch ihn geht, dem Aequator parallel, der Wendekreis des Steinbocks. Wenn die Sonne in diesem Puncte ist, so steht sie vom Nordpole des Aequators am weitesten ab und hat dann für die nördliche Halbkugel die gröſste mittägige Zenithdistanz, so daſs sie für die nördliche Zone sogar am tiefsten unter dem Horizonte steht und daſs der Tag, an welchem die Sonne diesen Punct erreicht, für die nördliche Hemisphäre der kürzeste, für die südliche aber der längste des ganzen Jahres ist. *L.*

Druck von C. P. Melzer in Leipzig.

Verzeichnifs der einzelnen Bände und Abtheilungen von Gehler's physikalischem Wörterbuche (so weit es bis jetzt erschienen ist), nebst Bemerkung, was jeder Band oder jede Abtheilung im Subscript.-Preise kostet.

1r Band, welcher A und B enthält. Mit 21 Kupfertafeln. gr. 8. 1825. Subscript. Preis 4 Thlr. 20 Ngr. (4 Thlr. 16 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 5 Thlr. 22½ Ngr. (5 Thlr. 18 gGr.)

2r Band, welcher C und D enthält. Mit 20 Kupfertafeln. gr. 8. 1826. Subscript. Preis 2 Thlr. 25 Ngr. (2 Thlr. 20 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 3 Thlr. 15 Ngr. (3 Thlr. 12 gGr.)

3r Band, welcher E enthält. Mit 16 Kupfertafeln. gr. 8. 1827. Subscript. Preis 4 Thlr. 15 Ngr. (4 Thlr. 12 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 5 Thlr. 15 Ngr. (5 Thlr. 12 gGr.)

4r Band 1ste Abtheil., welche F enthält. Mit 9 Kupfertafeln. gr. 8. 1827. Subscript. Preis 2 Thlr. 10 Ngr. (2 Thlr. 8 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis. 3 Thlr. 2½ Ngr. (3 Thlr. 2 gGr.)

4r Band 2te Abtheil., welche G enthält. Mit 9 Kupfertafeln. gr. 8. 1828. Subscript. Preis 4 Thlr. 7½ Ngr. (4 Thlr. 6 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 5 Thlr. 10 Ngr. (5 Thlr. 8 gGr.)

5r Band 1ste Abtheil., welche H enthält. Mit 13 Kupfertafeln. gr. 8. 1829. Subscript. Preis 2 Thlr. 20 Ngr. (2 Thlr. 16 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 3 Thlr. 15 Ngr. (3 Thlr. 12 gGr.)

5r Band 2te Abtheil., welche I und K enthält. Mit 17 Kupfertafeln. gr. 8. 1830. Subscript. Preis 2 Thlr. 25 Ngr. (2 Thlr. 20 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 3 Thlr. 22½ Ngr. (3 Thlr. 18 gGr.)

6r Band 1ste Abtheil., welche L enthält. Mit 11 Kupfertafeln. gr. 8. 1831. Subscript. Preis 2 Thlr. 20 Ngr. (2 Thlr. 16 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 3 Thlr. 15 Ngr. (3 Thlr. 12 gGr.)

6r Band 2te Abtheilung, welche Ma enthält. Mit 15 Kupfert. und 4 Charten. gr. 8. 1836. Subscript. Preis 4 Thlr.
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 5 Thlr.

6r Band 3te Abtheilung, welche Me — My enthält. Mit 17 Kupfert. gr. 8. 1837. Subscript. Preis 4 Thlr. 10 Ngr. (4 Thlr. 8 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 5 Thlr. 15 Ngr. (5 Thlr. 12 gGr.)

7r Band 1ste Abtheilung, welche N — Pn enthält. Mit 7 Kupfert. gr. 8. 1833. Subscr. Preis 2 Thlr. 20 Ngr. (2 Thlr. 16 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 3 Thlr. 15 Ngr. (3 Thlr. 12 gGr.)

7r Band 2te Abtheilung, welche Po — R enthält. Mit 19 Kupfertaf. gr. 8. 1834. Subscript. Preis 3 Thlr. 5 Ngr. (3 Thlr. 4 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 4 Thlr. 5 Ngr. (4 Thlr. 4 gGr.)

8r Band, welcher S enthält. Mit 23 Kupfertafeln. gr. 8. 1836. Subscript. Preis 5 Thlr.
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 6 Thlr. 10 Ngr. (6 Thlr. 8 gGr.)

9r Band 1ste Abtheilung, welche T — Thermol enthält. Mit 10 Kupfertafeln und 2 Charten. gr. 8. 1838.
Subscript. Preis 3 Thlr. 15 Ngr. (3 Thlr. 12 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 4 Thlr. 15 Ngr. (4 Thlr. 12 gGr.)

9r Band 2te Abtheilung, welche Thermom — U enthält. Mit 24 Kupfertafeln. gr. 8. 1839. Subscr. Preis 3 Thlr. 20 Ngr. (3 Thlr. 16 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 4 Thlr. 25 Ngr. (4 Thlr. 20 gGr.)

9r Band 3te Abtheilung, welche V enthält. Mit 8 Kupfertafeln. gr 8. 1840. Subscript. Preis 3 Thlr. 10 Ngr. (3 Thlr. 8 gGr.)
Auf Schreibpapier. Subscript. Preis 4 Thlr. 15 Ngr. (4 Thlr. 12 gGr.)

10r Band 1ste Abtheilung, welche W — Wae enthält. Mit 9 Kupfertafeln. gr. 8. 1841. Subscript. Preis 4 Thlr. 15 Ngr. (4 Thlr. 12 gGr.)
Auf Schreibp. Subscr. Preis 5 Thlr. 20 Ngr. (5 Thlr. 16 gGr.)

10r Band 2te Abtheilung, welche Waf — Win enthält. Mit 25 Kupfertafeln. gr. 8. 1842. Subscr. Preis 4 Thlr. 20 Ngr. (4 Thlr. 16 gGr.)
Auf Schreibp. Subscr. Preis 5 Thlr. 25 Ngr. (5 Thlr. 20 gGr.)

10r Band 3te Abtheilung, welche den Schlufs des Werkes und das Register enthält, erscheint im künftigen Jahre.

